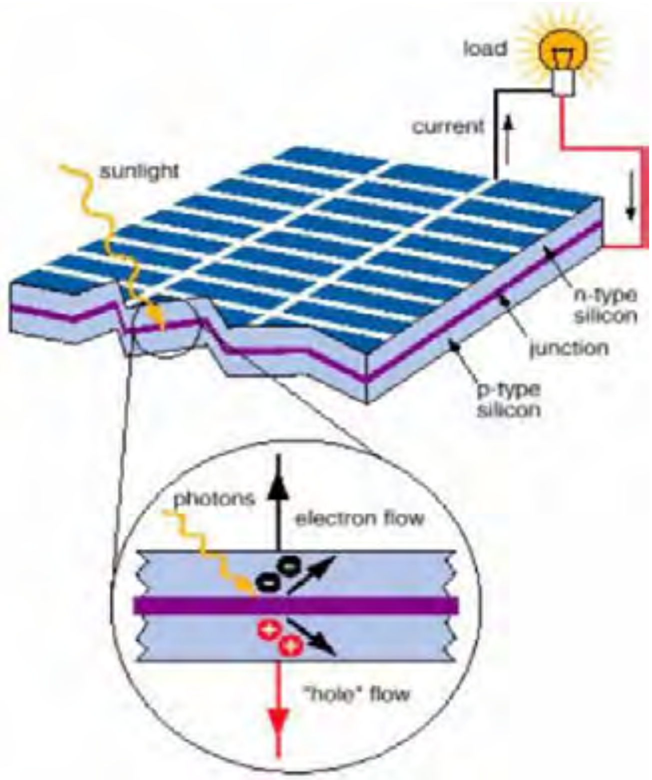
BUKU SISWA SMK

MATA PELAJARAN
KONVERSI ENERGI I



SEMESTER I

PROGRAM STUDI TEKNIK ENERGI TERBARUKAN
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI ii

BAB IPENDAHULUAN …………………………………………………………. 1

1.1. Latar belakang ………………………………………………………… 1

1.2. Deskripsi…………………………………………………………………. 2

1.3. Petunjuk Penggunaan ……………………………………………… 2

1.4. Tujuan pembelajaran ………………………………………………… 2

1.5. Kompetensi dasar dan sub kompetensi dasar ……………………. 3

BAB II KONVERSI ENERGI AIR KE LISTRIK DAN MEKANIK ……….... 5

2.1. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) …………………………….…. 5

2.2. Perkembangan pembangkit listrik skala kecil………………………..10

2.3. Prinsip pembangkitan tenaga air skala kecil …………………………20

2.4. Komponen-komponen pembangkit listrik skala kecil. ……………… 21

2.5. Kriteria pemilihan jenis turbin air skala kecil ……………………….. 26

2.6. Kriteria pemilihan generator ……………………………………….… 32

BAB III POTENSI DAYA AIR, DAYA TURBIN DAN DAYA GENERATOR …………………………………………………………………………………. 40

3.1. Pendataan PLTMH di suatu wilayah ……………………….….…. 40

3.2. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkitkan ………….…. 51

3.3. Penentuan dimensi dasar komponen-komponen sipil …………..…. 59

3.4. Penentuan spesifikasi turbin air skala kecil ……………………..…. 65

3.5. Penentuan spesifikasi generator …………………………….……. 70

BAB IVPERHITUNGAN HIDROLIKA DAN HIDRODINAMIKA ……..…. 73

4.1. Dasar-dasar hidrolika …………………………………………………. 73

4.2. Dasar hidrodinamika ………………………………………………….. 78
4.3. Prinsip-prinsip aliran air ……………………………………………… 82
4.4. Pengaliran air dalam pipa …………………………………………..… 85
4.5. Pengaliran air dalam permukaan bebas ………………………….… 88
4.6. Energi 90

BAB VMODEL PERALATAN KONTROL HIDROLIKA ………………... 92
5.1. Macam-macam Energi 92
5.2. Konversi Energi 93
5.3. Komponen (Alat) untuk konversi energi pada PLTMH 95
5.4. Debit air maksimum dan minimum 95
5.5. Debit air rata-rata pertahun 95
5.6. Besaran debit, ketinggian jatuh air (head) dan energi potensial air 98

BAB VIKONVERSI ENERGI SURYA KE LISTRIK DAN PANAS…… 102
6.1. Sejarah perkembangan pemanfaatan energi matahari untuk kehidupan sehari-hari 102
6.2. Prinsip perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi 115
6.3. Prinsip konversi energi matahari menjadi panas pada peralat)an pemanas (pemanas air dan pengering) 119
6.4. Prinsip konversi energi matahari menjadi listrik ………………... 122

BAB VIIRADIASI DAN PANAS MATAHARI ……………………………127
7.1. Pendataan pemanfaatan energi matahari dalam kehidupan sehari-hari 127
7.2. Pengukuran potensi energi matahari suatu wilayah 131
7.3. Penentuan spesifikasi pemanas air tenaga matahari 139
7.4. Penentuan spesifikasi pembangkit listrik tenaga surya ……….. 140
7.5. Modul surya ……………………………………………………… 150
7.6. Aalat pengatur baterai …………………………………………….. 161

7.7. Baterai …………………………………………………………….….. 183

Daftar Pustaka ……………………………………………………….. 198

BAB I

1.1. Latar Belakang

Sejak tahun 2005 pemerintah mulai memfokuskan lebih sistematis pada energi terbarukan. Aplikasi energi terbarukan di Indonesia saat ini berlangsung di bidang tenaga air, energi panas bumi, bio-energi, energi angin, energi surya, dan energi pasang surut. Dalam Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 (2005) menunjukkan bahwa ada pemanfaatan yang belum jelas dari sumber energi terbarukan: kapasitas terpasang hanya sebagian kecil dari potensi sumber energi terbarukan yang berbeda. Untuk Micro Hydro Power (MHP) ini adalah 18%, tetapi untuk energi terbarukan lain bahkan jauh lebih rendah, Untuk aplikasi biomassa ini hanya 0,6%.UU Energi Nomor 30 Tahun 2007 merupakan dasar hukum energi kebijakan pasokan Indonesia untuk melayani kebutuhan energi nasional, prioritas kebijakan pengembangan energi, kebijakan pemanfaatan sumber daya energi nasional dan saham energi nasional. Hukum menyatakan bahwa setiap warga negara Indonesia memiliki hak untuk mengakses sumber-sumber energi modern.

Dalam Visi Energi 25/25 arah kebijakan energi nasional diuraikan. Kebijakan ini bertujuan untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan menjadi 25% dari total pasokan energi pada tahun 2025. Visi menunjukkan pergeseran dari konsentrasi pada pasokan energi fosil ke energi terbarukan, setidaknya di mana harga biaya energi fosil yang lebih tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan tindakan konversi energi terbarukan untuk pemenuhan dan pemerataan energi di Indonesia. Modul konversi energi I ini akan memberi wawasan mengenai hal tersebut.

Modul ini memuat secara menyeluruh mengenai konversi energi. Dengan demikian pengetahuan yang komprehensif mengenai konversi dapat dicapai. Modul pembelajaran konservasi energi I ini dirancang agar siswa mampu mampu memahami konversi energi yang bersumber pada sumber daya alam yang dapat diperbaharui yang ramah lingkungan.

Lingkup konversi energi pada teknologi energi terbarukan seperti: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Biogas, dan Biomas. Modul ini memberi wawasan konversi energi air dan energi surya.

1.2. Deskripsi

Modul ini berisi pengetahuan tentang pengertian konversi energi yaitu energi airdan energi surya.

1.3. Petunjuk penggunaan modul

- ✓ Baca semua isi dan petunjuk pembelajaran modul mulai halaman judul hingga akhir modul ini. Ikuti semua petunjuk pembelajaran yang harus diikuti pada setiap Kegiatan Belajar
- ✓ Belajar dan bekerjalah dengan penuh tanggung jawab dan sepenuh hati, baik secara kelompok maupun individual sesuai dengan tugas yang diberikan.
- ✓ Kerjakan semua tugas yang diberikan dan kumpulkan sebanyak mungkin informasi yang dibutuhkan untuk meningkatkan pemahaman Anda terhadap modul ini.
- ✓ Jagalah keselamatan dan keamanan kerja serta peralatan baik di kelas, laboratorium maupun di lapangan.
- ✓ Kompetensi yang dipelajari di dalam modul ini merupakan kompetensi minimal. Oleh karena itu disarankan Anda mampu belajar lebih optimal.
- ✓ Laporkan semua pengelamana belajar yang Anda peroleh baik tertulis maupun lisan sesuai dengan tugas setiap modul.

1.4. Tujuan Pembelajaran

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai teknik konversi energi melalui pemanfaatan energi terbarukan.

1.5. Kompetensi dasar dan Sub kompetensi dasar

Kompetensi dasar dan sub kompetensidasar dalam modul ini adalah:

1. Konversi energi air ke listrik dan mekanik
   a. Sejarah perkembangan pembangkit listrik skala kecil
   b. Prinsip pembangkitan tenaga air skala kecil
   c. Komponen-komponen pembangkit listrik skala kecil.
   d. Kriteria pemilihan jenis turbin air skala kecil
   e. Kriteria pemilihan generator

2. Potensi daya air, daya turbin dan daya generator
   a. Pendataan PLTMH di suatu wilayah
   b. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkitkan
   c. Penentuan dimensi dasar komponen-komponen sipil
   d. Penentuan spesifikasi turbin air skala kecil
   e. Penentuan spesifikasi generator

3. Perhitungan hidrolika dan hidrodinamika
   a. Dasar-dasar hidrolika
   b. Dasar hidrodinamika
   c. Prinsip-prinsip aliran air
   d. Pengaliran air dalam pipa
   e. Pengaliran air dlm permukaan bebas
   f. Energi dan power

4. Model peralatan kontrol hidrolika
   a. Macam-macam energi
   b. Konversi energi
   c. Komponen (Alat) untuk konversi energi pada PLTMH

   d. Debit air maksimum dan minimum
   e. Debit air rata-rata pertahun
   f. Besaran debit, ketinggian jatuh air (head) dan energi potensial air

5. Konversi energi surya ke listrik dan panas
   a. Sejarah perkembangan pemanfaatan energi matahari untuk kehidupan sehari-hari
   b. Prinsip perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi
   c. Prinsip konversi energi matahari menjadi panas pada peralat)an pemanas (pemanas air dan pengering)
   d. Prinsip konversi energi matahari menjadi listrik

6. Radiasi dan panas matahari
   a. Pendataan pemanfaatan energi matahari dalam kehidupan sehari-hari
   b. Pengukuran potensi energi matahari suatu wilayah
   c. Penentuan spesifikasi pemanas air tenaga matahari
   d. Penentuan spesifikasi pembangkit listrik tenaga surya

BAB II
KONVERSI ENERGI AIR KE LISTRIK DAN MEKANIK

2.1. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)



Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan. Selain kapasitas daya keluarannya yang paling besar diantara energi terbarukan lainnya, pembangkit listrik tenaga air ini juga telah ada sejak dahulu kala. Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai pembangkit listrik tenaga air serta keberadaan potensi energi air yang masih belum digunakan.

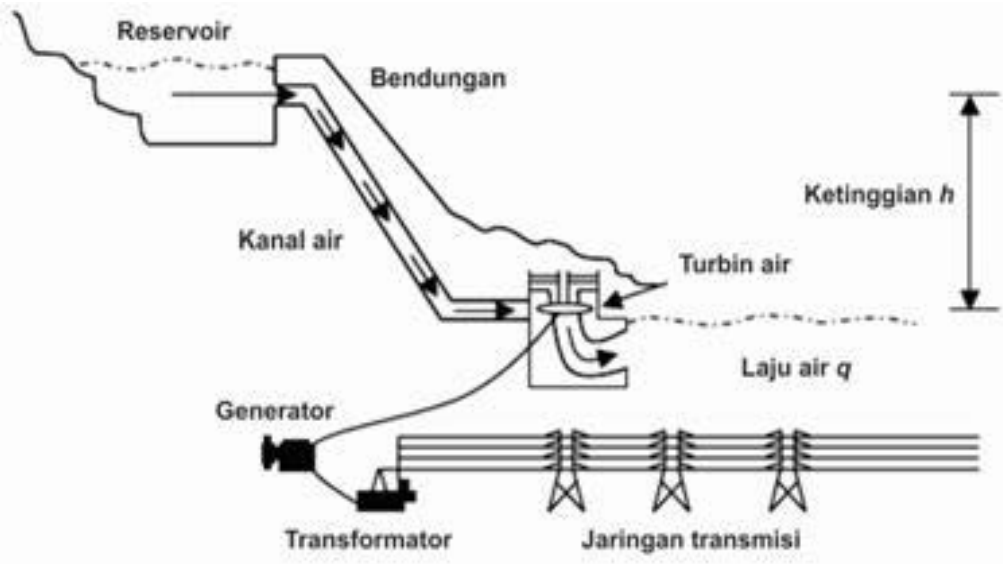
Tenaga air telah berkontribusi banyak bagi pembangunan kesejahteraan manusia sejak beberapa puluh abad yang lalu. Beberapa catatan sejarah mengatakan bahwa penggunaan kincir air untuk pertanian, pompa dan fungsi lainnya telah ada sejak 300 SM di Yunani, meskipun peralatan-peralatan tersebut kemungkinan telah digunakan jauh sebelum masa itu. Pada masa-masa antara jaman tersebut hingga revolusi industri, aliran air

dan angin merupakan sumber energi mekanik yang dapat digunakan selain energi yang dibangkitkan dari tenaga hewan. Perkembangan penggunaan energi dari air yang mengalir kemudian berkembang secara berkelanjutan sebagaimana dicontohkan pada desain tenaga air yang menakjubkan pada tahun 1600-an untuk istana Versailles dibagian luar Paris, Prancis. Sistem tersebut memiliki kapasitas yang sepadan dengan 56 kW energi listrik.

Sistem tenaga air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian biasanya menjadi energi listrik. Air mengalir melalui kanal (penstock) melewati kincir air atau turbin dimana air akan menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator. Energi yang dibangkitkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai ataupun digunakan untuk memperbaiki kualitas listrik pada jaringan.

Jumlah daya listrik yang dapat dibangkitkan pada suatu pusat pembangkit listrik tenaga air tergantung pada ketinggian (h) dimana air jatuh dan laju aliran airnya. Ketinggian (h) menentukan besarnya energi potensial (EP) pada pusat pembangkit (EP = m x g x h). Laju aliran air adalah volume dari air (m3) yang melalui penampang kanal air per detiknya (qm3/s). Daya teoritis kasar (P kW) yang tersedia dapat ditulis sebagai:

Daya yang tersedia ini kemudian akan diubah menggunakan turbin air menjadi daya mekanik. Karena turbin dan peralatan elektro-mekanis lainnya memiliki efisiensi yang lebih rendah dari 100% (biasanya 90% hingga 95%), daya listrik yang dibangkitkan akan lebih kecil dari energi kasar yang tersedia. Gambar 1 menunjukkan pusat pembangkit listrik tenaga air pada umumnya.



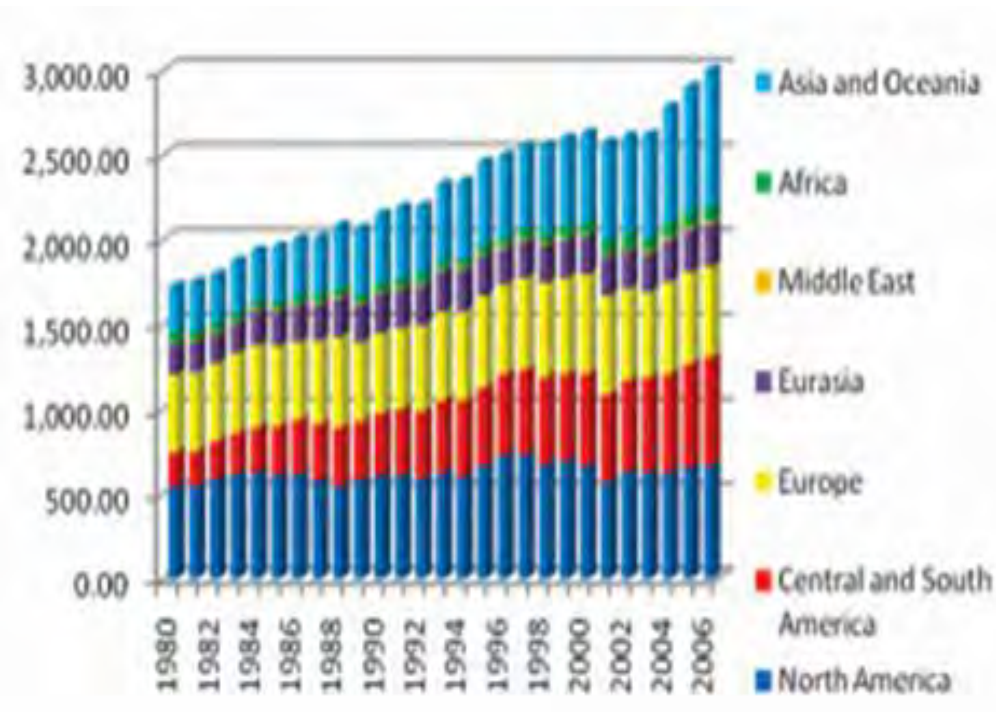
Gambar 1. Pembangkitan listrik tenaga air umumnya

Laju q dimana air jatuh dari ketinggian efektif h tergantung dari besarnya luas penampang kanal. Jika luas penampang kanal terlalu kecil, daya keluaran akan lebih kecil dari daya optimal karena laju air q dapat lebih besar. Di lain pihak, ukuran kanal tidak dapat dibuat besar secara sembarangan karena laju air q yang melalui kanal tergantung dari laju pengisian air pada reservoir air di belakang bendungan.

Volume air pada reservoir dan ketinggian h yang bersangkutan, tergantung dari laju air yang masuk ke dalam reservoir. Selama musim kering, ketinggian air pada reservoir dapat berkurang karena jumlah air dalam reservoir lebih sedikit. Selama musim hujan, ketinggiannya dapat naik kembali karena air yang masuk dari berbagai aliran air yang mengisi bendungan. Fasilitas pembangkit listrik tenaga air harus di desain untuk menyeimbangkan aliran air yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik dan jumlah air yang mengisi reservoir melalui sumber alami seperti curahan hujan, salju, dan aliran air lainnya.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan aplikasi energi terbarukan yang terbesar dan paling matang secara teknologi, dimana terdapat 678.000 MW kapasitas daya listrik yang terpasang di seluruh dunia, yang menghasilkan lebih dari 22% listrik dunia (2564 TWh/tahun pada 1998).

Dalam hal ini, 27.900 MW merupakan pembangkit skala kecil yang menghasilkan listrik 115 TWh/tahun. Di eropa barat, pembangkit listrik tenaga air berkontribusi sebesar 520 TWh listrik pada tahun 1998, atau sekitar 19% dari energi listrik di Eropa (sehingga menghindari emisi dari sejumlah 70 juta ton CO2 per tahun-nya). Pada sejumlah negara di Afrika dan Amerika Selatan, pembangkit listrik tenaga air merupakan sumber listrik yang menghasilkan lebih 90% kebutuhan energi listriknya. Gambar 2 memperlihatkan pembangkitan energi listrik dari air dunia yang meningkat secara dinamis tiap tahunnya. Di samping pembangkit listrik tenaga air yang berkapasitas besar yang telah ada, masih terdapat ruang untuk pengembangan lebih jauh dimana diperkirakan hanya sekitar 10% dari total potensi air di dunia yang telah digunakan.



Gambar 2. Pembangkitan energi listrik tenaga air dunia dalam TWh.

Hampir semua proyek pembangkit listrik tenaga air memiliki skala yang besar, yang biasanya didefinisikan kapasitasnya lebih besar dari 30 MW.

Tabel 1 menampilkan perbandingan antara beberapa ukuran pembangkit listrik tenaga air.

Ukuran	Kapasitas Pembangkitan Energi Listrik (MW)
Mikro	< 0.1
Kecil	0.1 - 30
Besar	> 30
Sumber: DoE Hydropower, 2002	

Tabel 1. Kapasitas beberapa pembangkit energi listrik tenaga air

Air yang tersimpan dapat digunakan ketika dibutuhkan, baik secara terus-menerus (jika ukuran reservoirnya cukup besar) atau hanya saat beban listrik sangat dibutuhkan (beban puncak). Keuntungan dari pengaturan penyimpanan air ini tergabung dengan kapabilitas alami dari pembangkit listrik tenaga air yang memiliki respon yang cepat dalam ukuran menit terhadap perubahan beban. Oleh karena itu, pembangkit jenis ini sangat berharga karena memiliki pembangkitan listrik yang fleksibel untuk mengikuti perubahan beban yang terduga maupun yang tak terduga.

Pembangkit listrik tenaga air berskala besar telah berkembang dengan baik dan digunakan secara luas. Di perkirakan bahwa 20% hingga 25% dari potensi air skala besar di dunia telah dikembangkan. Pembangkit listrik tenaga air skala besar merupakan sumber energi terbarukan yang paling diinginkan berdasarkan ketersediaan dan fleksibilitas dari sumber energinya. Pada tahun 2008 telah dibangun proyek Three Gorges Dam yaitu PLTA dengan skala 22.5 GW dengan membendung sungai Yangtse di Cina dan merupakan PLTA terbesar di dunia saat ini. Pembangunan PLTA berskala besar membutuhkan biaya awal yang besar sementara biaya operasinya sangat kecil. Hal ini berbeda dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil seperti batu bara dan diesel.

Di Indonesia terdapat banyak sekali potensi air yang masih belum dimanfaatkan. Seperti sungai-sungai besar maupun kecil yang terdapat di berbagai daerah. Hal ini merupakan peluang yang bagus untuk pengembangan energi listrik di daerah khususnya daerah yang belum terjangkau energi listrik. Pengembangan dapat dilakukan dalam bentuk mikrohidro ataupun pikohidro yang biayanya relatif kecil. Proyek ini dapat dilakukan secara mandiri, seperti yang telah dilakukan oleh tim PALAPA – HME ITB di kampung Cilutung dan Awilega, desa Jayamukti kabupaten Garut, Jawa Barat.

2.2. Perkembangan pembangkit listrik skala kecil

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggeraknya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air (head). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibagun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt. Relatif kecilnya

energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut:

- Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
- Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
- Tidak menimbulkan pencemaran.
- Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
- Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Dalam perjalanan sejarahnya, PLTMH memperoleh popularitas sebagai sistem pembangkitan listrik tenaga air yang tepat guna (appropriate technology) dan ramah lingkungan. Banyak kelompok yang menentang pembangunan PLTA , dan mereka lebih menganjurkan menggunakan PLTMH. Dukungan mereka terhadap PLTMH dengan alasan PLTMH tidak menggunakan dam tinggi sehingga resiko bencana lebih kecil, tidak membutuhkan genangan yang luas sehingga tidak menimbulkan dampak lingkungan yag merugikan, dapat dioperasikan dan dipelihara lebih mudah sehingga masyarakat lokal dapat membangun, mengelola, dan memanfaatkan sumber daya air untuk kesejahteraan penduduk

setempat. PLTMH adalah media dan alat untuk mengembangkan kemampuan masyarakat dalam memperbaiki kualitas dan harkat hidupnya.

Dengan demikian PLTMH bukan sekedar ukuran kapasitas sebuah pembangkit daya, tetapi lebih pada sebuah gerakan sosial, sebagai bagian dari pemahaman teknologi tepat guna (approprite technology) dalam kerangka pengembangan masyarakat (community development). Oleh karena itu pembangunan PLTMH yang tidak memberdayakan penduduk lokal, apalagi tidak melibatkan pastisipasi aktif masyarakat bukanlah pembangunan PLTMH (Hydro Power for Empowering People)

Pada awal tahun 70-an, PLTMH mulai dikenalkan di berbagai negara di Asia, seperti Srilangka, Bangladesh, dan juga Indonesia. Setelah terpasang beberapa instalasi PLTMH, ternyata secara statistik kapasitas pembangkitan dengan skema PLTMH berkisar antara 1 kW hingga 100 kW, dan dari data ini maka PLTMH diklasifikasikan sebagai PLTA dengan kapasitas daya listrik tidak lebih dari 100 kW. Tetapi kebanyakan penggiat PLTMH sepakat bahwa kapasitas pembangkit bukan batasan penggunaan PLTMH, jika prinsip-prinsip dasar PLTMH dapat dipenuhi maka istilah PLTMH masih dapat digunakan walaupun kapasitas pembangkit lebih dari 100 kW.

Pada kenyataannya memang persyaratan teknis PLTMH bergantung pada kapasitas daya pembangkit. PLTMH dengan daya lebih dari 100 kW membutuhkan perencanaan yang lebih mendalam, menuntut pembutan turbin yang lebih presisi, menggunakan kontroler yang lebih baik sehingga kehandalan instalsi PLTMH dapat beroperasi kontinyu, dengan kualitas listrik lebih baik.

PLTMH untuk sistem Listrik Pedesaan

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro telah digunakan secara luas sebagai salah satu sumber energi alternatif, khususnya di daerah terpencil dimana sumber energi lain tidak tersedia. Tenaga air dalam skala kecil dapat dipasang dalam sungai atau aliran air yang kecil dengan hanya sedikit atau bahkan tidak ada efek negatif terhadap lingkungan, seperti perpindahan ikan misalnya. Kebanyakan pemanfaatan tenaga air dalam skala kecil tidak memerlukan dam atau sistem penampung air musiman, tetapi menggunakan sistem penghentian aliran sungai "run off the river".

Mikrohidro dapat digunakan langsung sebagai tenaga poros untuk kebanyakan aplikasi industri kecil. PLTMH biasanya diaplikasikan untuk penyediaan energi dengan mengkonversikan daya poros menjadi energi listrik dengan menggunakan generator biasa atau motor listrik.

Di beberapa wilayah miskin di dunia, banyak penduduk di daerah terpencil masih banyak yang tidak memiliki akses terhadap energi listrik. Mikrohidro memberikan peluang pada komunitas seperti itu untuk membangkitkan energi listrik untuk keperluan mereka sendiri.



Gambar 3.4

Poros turbin dikopel langsung dengan mesin penggilingan tepung (Tanzania)

Banyak organisasi internasional dan pemerintah mendukung bentuk pengembangan seperti ini dengan cara pembiayaan proyek, kebijakan perundangan yang mendukung, dan transfer teknologi. Pemerintah Indonesai sendiri terus menggalakan penggunaan energi terbarukan khususnya mikrohidro



Gambar 3.5

Lokasi PLTMH Salido Kecil di Desa Salido Sari Bulan, Kecamatan IV Jurai, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat merupakan PLTMH peninggalan jaman Belanda yang hingga sekarang masih beroperasi, dan bahkan setelah direhabilitasi dayanya akan semakin optimal menjadi 330 KW

melalui departemen dan instansi terkait seperti PLN, Dinas Pertambangan dan Energi (pusat dan daerah), Departemen Kimpraswil dan pemerintah daerah melalui APBD. Pemerintah mengaplikasikan hal ini melalui berbagai bentuk program seperti listrik pedesaaan, padat karya, dll. Selain itu banyak organisasi dunia baik berupa program pemerintah ke pemerintah (Government to Government/ G to G) maupun melalui lembaga independen (Non Government Organitation/ NGO). Banyak

informasi berharga dalam pembahasan ini telah dirangkum dalam laporan DFID tahun 2002 (tersedia dalam manual ini sebagai “public domain source”). Tabel berikut ini dapat memberikan gambaran mengenai keterkaitan energi terhadap upaya pengentasan kemiskinan.

Energi Untuk Pengentasan Kemisikinan

a. Mitos Dan Fakta

Ada sejumlah mitos tentang energi yang harus diluruskan sebagai upaya mendorong masyarakat untuk berfikir lebih serius tentang hal-hal yang berkaitan dengan penyediaan energi, akses energi dan penggunaan energi.

MITOS	FAKTA
orang miskin tidak mempertimbangkan penyediaan energi sebagai sebuah prioritas	Orang miskin mungkin tidak menggunakan istilah energi, tetapi mereka dapat menghabiskan waktu dan usaha yang lebih banyak untuk memperoleh energi dibandingkan orang yang mampu. Mereka menghabiskan porsi yang besar dari pendapatan keluarga untuk kebutuhan dasar hidup seperti memasak, penghangat ruangan, dll.
Ketersediaan listrik, baik dari jaringan PLN atau sumber energi terbarukan akan memecahkan semua kebutuhan energi bagi orang miskin	Para ahli kadang sering salah mengatakan “listrik” ketika yang dimaksud adalah “Energi” dan sebaliknya. Semua orang membutuhkan akses terhadap sejumlah sumber energi untuk memenuhi kebutuhan energi seperti, memasak, pemanas,

	transportasi dan komunikasi.
Orang miskin tidak dapat membayar pelayanan energi	Banyak orang miskin sering membayar lebih mahal per unit energi dibandingkan orang mampu, sebagian karena teknologi konversi yang tidak efisien dan sebagian karena korupsi.
Teknologi baru terbarukan-seperti photovoltaic dan solarcell akan meningkatkan akses orang miskin terhadap pelayanan energi.	Teknologi jarang menjadi batasan, tetapi sistem kelembagaan, masalah politik dan sosial sering menghambat keberlanjutan mata pencaharian. Keterbatasan pengetahuan dan keterampilan merupakan hal yang lebih penting untuk diatasi.
Hanya orang-orang didaerah terpencil menderita karena kekurangan energi	Penduduk miskin didaerah perkotaan juga menderita karena kekurangan energi dan jumlahnya terus meningkat karena diperkirakan bahwa 61% populasi dunia akan tinggal didaerah perkotaan pada tahun 20254

3 Poverty encompasses low incomes, deprivation (hunger, sickness, lack of shelter and clothing), low achievements in education, vulnerability, exposure to risk, voicelessness and powerlessness. World Development Report 2000/2001, Attacking Poverty, The International Bank of Reconstruction and Development, The World Bank 2001

4 UNHCR (1999), „An Urbanising World, Global Report on Human Settlements" Introduction of Renewable Energy Lesson Modules at Technical Schools in Indonesia

b. Energi dan Tujuan Pembangunan di Millenium Ketiga

Pelayanan energi dapat memainkan peranan langsung dan tidak langsung dalam membantu pencapaian tujuan pembangunan di milenium ketiga, dimana Energi dapat:

- **membantu mengatasi kemisikinan** – Akses terhadap pelayanan energi memfasilitasi perkembangan ekonomi masyarakat kecil, misalnya: aktifitas usaha dapat dilakukan baik siang maupun malam; berkembangnya industri kecil di pedesaan, sehingga membuka lapangan pekerjaan. Perkembangan ekonomi pedesaan ini dapat menjembatani perbedaan antara orang miskin dan kaya.
- **mengurangi kelaparan dan meningkatkan akses terhadap air minum yang bersih** --Ketersediaan energi dapat meningkatkan sistem penyediaan air bersih melalui pompa, baik untuk mencuci maupun memasak, dimana 95% makanan pokok perlu dimasak sebelum dapat dimakan.
- **mengurangi angka kelahiran, kehamilan dan penyakit** -- Energi adalah komponen kunci dalam fungsi sistem kesehatan, sebagai contoh mesin dan cahaya untuk operasi, sistem pendinginan obat-obatan dan vaksin, peralatan sterilisasi, sistem transportasi kesehatan, dll.
- **mendukung pencapaian pendidikan dasar, persamaan gender dan pemberdayaan perempuan -** Ketersediaan energi meningkatkan efisiensi aktifitas perempuan dan anak-anak dalam rumahtangga (misal: mengumpulkan kayu bakar, mencuci, memasak,dll). Penerangan memungkinkan pelajaran dibawa ke rumah, meningkatkan keamanan, dan memungkinkan penggunaan fasilitas informasi dan komunikasi dalam kegiatan belajar mengajar di sekolah.

- **menjaga lingkungan secara berkelanjutan** - Peningkatan efisiensi energi dan penggunaan energi alternatif yang lebih bersih dapat membantu pemanfaatan sumber alam secara berkelanjutan. Selain itu juga pengurangan emisi dan polusi akan melindungi lingkungan lokal maupun global. Pemerintah Indonesia berniat untuk meningkatkan rasio elektrifikasi pedesaan menjadi 45%, yang berarti menyediakan listrik bagi hampir 50.000 desa, yang sumber utamanya kebanyakan dari pembangkit listrik tenaga air skala kecil dan mikro (*Hydropower and Dams World Atlas, 2005)*

.

c. Mikrohidro: suatu sumber energi yang tepat

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) memiliki banyak keuntungan dibanding sumber energi konvensional. Keuntungan tersebut utama antra lain:

- Menggunakan sumber energi terbarukan, dimana air di daerah tangkapan tidak dihabiskan, melainkan terus digantikan sesuai dengan siklus hidrologi.
- Air merupakan sumber energi non polusi.
- Dapat menggantikan sistem pembangkit listrik berbahan bakar minyak (BBM), dimana bahan bakunya diimpor.
- Teknologi yang telah terbukti keandalannya dengan baik,
- Dampak negatif PLTMH terhadap lingkungan (ekologi sungai) sangat rendah.

Meskipun demikian ada juga sejumlah kekurangan yang harus dipertimbangkan ketika membandingkan PLTMH dengan sumber energi lain. Pembangkit listrik air skala kecil identik dengan;

- Biaya investasi yang relatif besar untuk pembangunan PLTMH, meskipun biaya operasinya rendah.
- Memerlukan penguasaan pengetahuan khusus yang kadang tidak tersedia dimasyarakat setempat. Perlu diperhatikan bahwa PLTMH

bukan merupakan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang dikecilkan, tetapi sebuah pembangkit yang memerlukan perencanaan dan pembangunan yang unik dan berbeda dengan PLTA.

- Meskipun PLTMH memerlukan perhatian yang sederhana, tetapi harus dilakukan secara terus menerus, terutama dalam operasional dan perawatannya. Kadang-kadang masyarakat desa tidak dipersiapkan untuk melakukannya, sehingga mereka kurang terorganisir, kurang sadar dan kurang rasa memiliki. Akibatnya PLTMH kurang mampu bertahan lama. Hal ini merupakan aspek yang harus diperhatikan dengan teliti dalam merencanakan sebuah PLTMH.

Dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya seperti angin, biomass, dan tenaga surya, PLTMH memiliki beberapa keunggulan lain diantaranya;

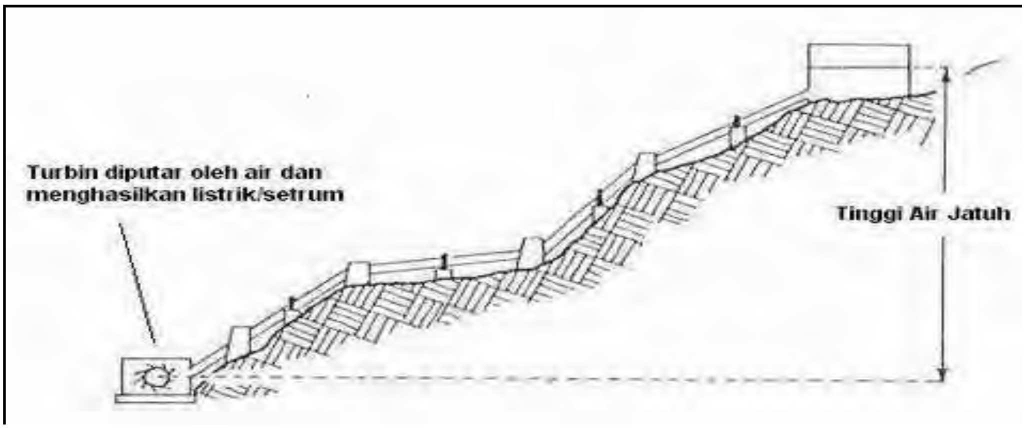
- Efisiensi PLTM lebih tinggi (70 – 90 %), sehingga lebih baik daripada teknologi energi lainnya.
- Faktor kapasitas PLTMH lebih tinggi, biasanya lebih dari 50% (tergantung aplikasi sistem), dibandingkan dengan PV yang hanya 10% dan 30% untuk angin. Oleh karena itu PLTMH lebih handal dalam sistem jaringan terpisah. (off grid).
- PLTMH lebih mudah diprediksi, biasanya berubah sesuai dengan pola curah hujan tahunan.
- Perubahan sistem kerja PLTMH lebih lambat, air sebagai sumber energi berubah secara berangsur-angsur dari hari ke hari, tidak dari menit ke menit seperti halnya angin.
- Keterkaitan PLTMH dengan beban lebih baik, dimana output tetap konstan baik malam ataupun siang hari. Permintaan beban yang meningkat dapat dilayani ketika debit air lebih besar dan daya yang dihasilkan mencapai maksimum.

- PLTMH lebih tahan lama dan handal, sehingga dapat dipakai hingga 50 tahun bahkan lebih, dan cukup mudah untuk ditangani oleh penduduk desa.

2.3. Prinsip pembangkitan tenaga air skala kecil

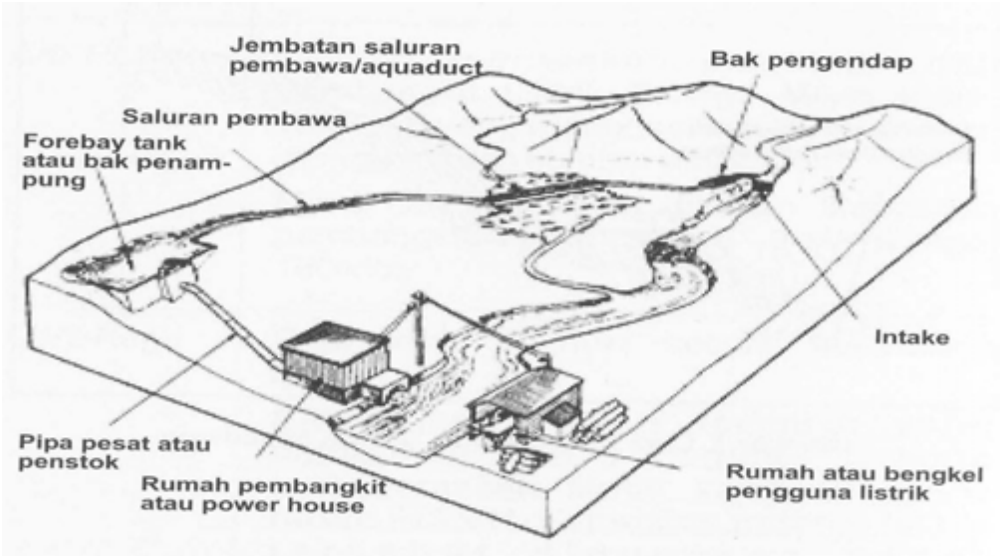
PLTMH bekerja ketika air dalam jumlah dan ketinggian tertentu dijatuhkan dan menggerakan kincir yang ada di dalam turbin PLTMH. Putaran turbin yang bertenaga tersebut digunakan untuk menggerakan alternator atau generator hingga menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dialirkan melalui kabel listrik ke rumah-rumah penduduk atau pabrik.

Jadi PLTMH mengubah tenaga gerak yang berasal dari air menjadi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik tentunya harus menggunakan peralatan yang tepat dan tidak seadanya karena listrik berbahaya.



Gambar 3.6

Seluruh anggota masyarakat dilibatkan dalam perencanaan, pembiayaan, pembangunan dan pengoperasian PLTMH



Gambar 3.7

Habis Gelap Terbitlah Terang. Dengan listrik sumber informasi dapat diakses dimanapun di seluruh pelosok tanah air.

a. Sistem Hidrolik, terdiri dari: bendung dan intake, bak pengendap, saluran pembawa, bak penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, turbin.
b. Sistem Pembangkitan (Generator dan Switch Gear)
c. Beban/ sistem konsumen (peralatan listrik)
d. Sistem kontrol (yang mensesuaikan output sistem dengan beban konsumen

2.4. Komponen-komponen pembangkit listrik skala kecil.

Komponen pokok yang dibutuhkan dalam sebuah instalasi PLTMH terdiri dari

a. Komponen sipil
b. Peralatan elektro mekanikal
c. Transmisi dan distribusi listrik

KOMPONEN SIPIL

Bendung Pengalihan (Diversion Weir), terletak melintang aliran sungai yang berfungsi meninggikan permukaan air sungai agar aliran air yang masuk melalui intake ke dalam sistem penyaluran PLTMH lebih lancar dan sesuai dengan kebutuhannya. Pembuatan bendung ini tidak sampai menghentikan aliran air pada sungai yang dibendung untuk menjamin hak pengguna air lainnya.

1) ***Intake (Saluran Pemasukan)***, terdiri dari lubang intake (intake orifice) dan pintu intake (intake gate). Lubang intake merupakan pintu masuk menuju saluran pembawa. Lubang intake berada di samping bendung atau di bibir sungai ke arah hulu sungai. Pintu intake mengatur aliran air masuk dari sungai ke sistem pembawa air. Pintu intake juga memungkinkan untuk menutup sama sekali aliran masuk selama periode perawatan dan selama banjir. Pada pintu intake biasanya terdapat perangkap sampah. Bagian dasar saluran antara lubang intake dan pintu intake dibuat lebih miring agar dapat mengendapkan pasir dan kerikil yang ikut masuk ke dalam intake.
2) **Bak Pengendap (Desilting Chamber/ Sand Trap),** merupakan saluran yang terletak sesudah pintu intake. Bagian dasar bak pengendap secara membujur dibuat lebih miring agar kecepatan aliran air menurun. Penurunan ini akan mengendapkan kerikil, pasir dan sedimen sehingga tidak ikut masuk ke saluran pembawa, dan yang terpenting tidak masuk ke dalam turbin. Partikel-partikel yang masuk ke dalam turbin akan mengakibatkan abrasi pada runner. Pada bagian akhir bak pengendap terdapat pintu penguras untuk membersihkan sand trap dari endapan pasie, kerikil dan sedimen. Pada PLTMH kecil bak pengendap juga berfungsi sebagai bak penenang.
3) ***Saluran pembawa (head race channel)***, adalah saluran yang membawa air mulai dari saluran pemasukan (intake) hingga ke bak penenang. Bagian dasar saluran dibuat miring (landai) agar tidak

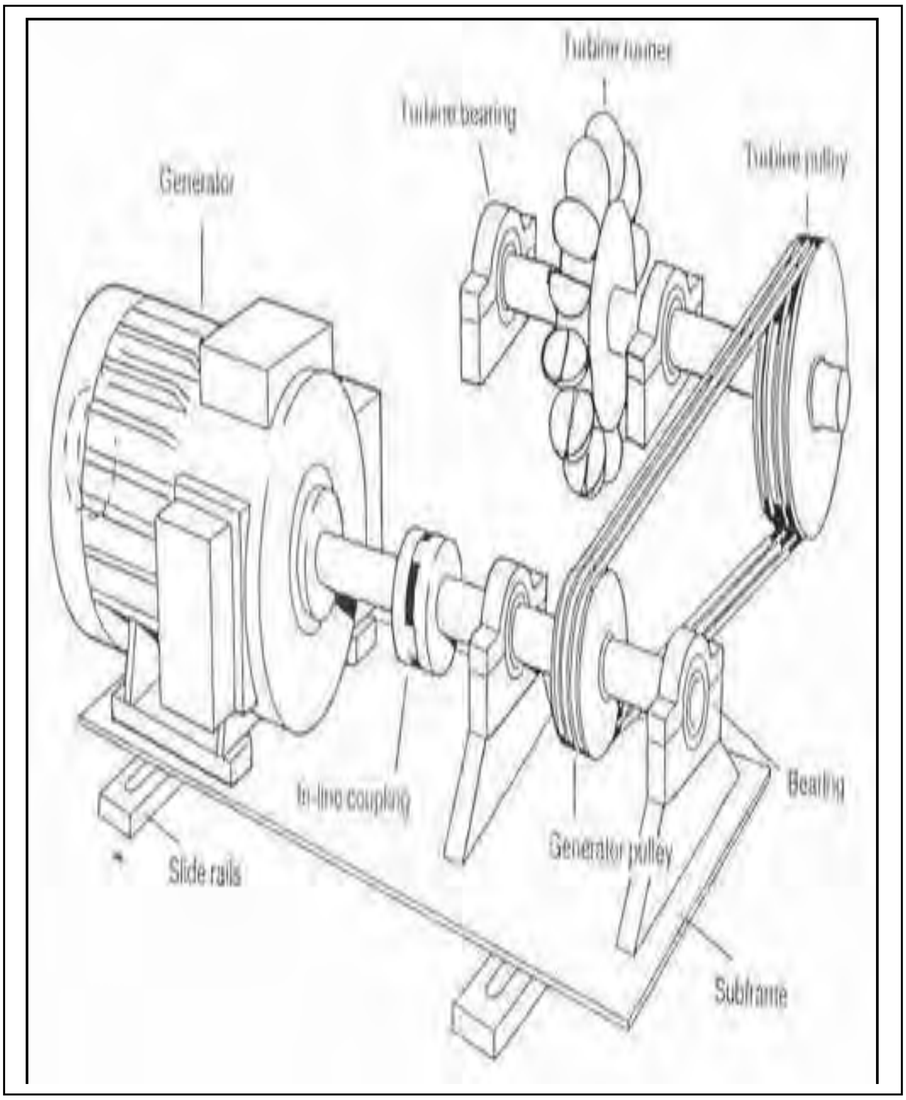
ada air yang terjebak di dalam saluran. Kemiringan dibuat sedemikian rupa agar hilangnya ketinggian (head lose) dapat dibuat seminimal mungkin. Jika saluran pembawa harus melintasi jurang atau sungai, maka dibuat saluran penyebrangan atau jembatan pipa. Meskipun saluran pembawa dibuat setelah bak penenang, namun panjang saluran pembawa diukur sejak intake hingga bak penenang.

4) ***Pelimpah dan saluran pelimpah (spillway dan spillway channels)***, berfungsi untuk mencegah aliran air berlebih yang tidak terkontrol dengan cara mengembalikan kelebihan air dalam saluran ke sungai melalui saluran pelimpah. Kelebihan air terjadi ketika debit air di dalam saluran melebihi batas atau saringan di dalam bak penenang tersumbat sampah. Spill way kemungkinan terletak pada bak pengendap, saluran pembawa, dan bak penenang. Dengan adanya sistem pelimpah air dapat mencegah erosi dan tanah longsor pada sistem saluran air yang diakibatkan air meluber kemana-mana.
5) ***Bak penenang (forebay)*** membentuk transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat. Dalam beberapa kasus baknya diperbesar yang bertujuan sebagai bak penampung pada beban puncak dan bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (air suction) oleh penstock. Bak penenang ini pun merupakan bak pengendap dan penyaring terakhir sebelum air masuk ke dalam pipa pesat (penstock).
6) ***Saringan***, menyaring sampah dalam air agar tidak masuk ke dalam pipa pesat. Saringan terletak pada bagian depan intake, setelah bak pengendap, dan ujung depan pipa pesat di dalam bak penenang. Saringan harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur.
7) ***Pipa pesat (penstock)*** adalah pipa yang menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit yang membawa air

jatuh ke turbin. Umumnya pipa pesat terbuat dari pipa baja yang di rol dan dilas untuk menyambungkannya. Namun demikian ada juga pipa pesat terbuat beton atau plastik (PE, PVC, HDPE). Pipa pesat juga berfungsi mempertahankan tekanan air jatuh sehingga energi di dalam gerakan air tidak terbuang. Oleh karena itu air di dalam pipa pesat tidak boleh bocor, karena akan mengurangi tekanan air. Tinggi (head) pipa pesat di hitung secara tegak lurus (90º). Ppa pesat didukung oleh sliding blocks dan angkor serta expansion joint (sambungan) untuk mengatasi pemuaian pipa secara memanjang akibat pengaruh temperatur.

8) ***Rumah pembangkit (power house)*** adalah bangunan tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH dipasang secara aman baik dari pengaruh cuaca buruk maupun akses masuk orang-orang yang tidak berkepentingan. Peralatan mekanik seperti turbin dan alternator berada di dalam rumah pembangkit, demikian pula peralatan elektrik, seperti controler.
9) ***Saluran pembuang (Tailrace Channel),*** terpasang dibagian dasar rumah pembangkit yang berfungsi mengalihkan air kembali ke sungai setelah melalui turbin.

PERALATAN ELEKTRO-MEKANIKAL



Gambar 4.3

Sistem Elektro - Mekanikal

Peralatan elektro-mekanikal adalah semua peralatan yang dipergunakan untuk merubah energi air menjadi listrik. Peralatan utamanya terdiri dari:

i. Turbin, merupakan peralatan mekanik yang mengubah tenaga air menjadi mekanik (tenaga putar/ gerak). Ada beberapa jenis turbin yang digunakan di dalam PLTMH sesuai dengan debit dan tinggi jatuh air, yaitu turbin pelton, turbin cross flow, turbin propeler turbin open plum dan pump as turbin (PAT)
ii. Alternator atau generator merupakan peralatan mekanik yang berfungsi mengubah tenaga gerak putar menjadi listrik. Alternator digerakan oleh turbin dengan bantuan sabuk pemutar. Untuk menjaga kestabilan putaran alternator, di antara turbin dan alternator sering dipasang roda gila (fly wheel).
iii. Panel atau Peralatan Pengontrol Listrik, biasanya merupakan peralatan elektrik yang berbentuk kotak dan dipasang di dinding. Panel berisi peralatan elektronik untuk mengatur listrik yang dihasilkan alternator/ generator.
iv. Jaringan kabel listrik, merupakan jaringan kabel listrik yang menyalurkan listrik dari rumah pembangkit ke pelanggan (PLN, rumah-rumah, atau pabrik).

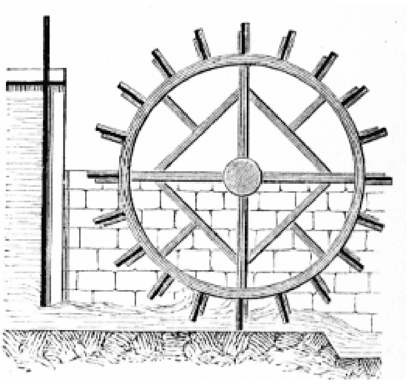
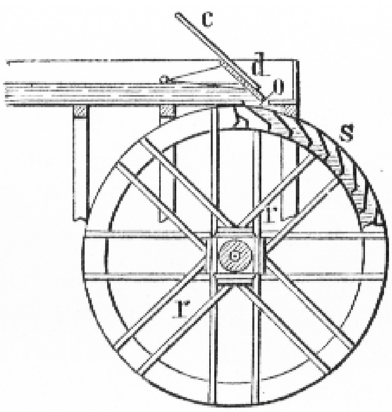
2.5. Kriteria pemilihan jenis turbin air skala kecil

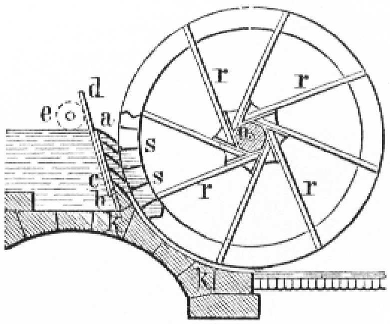
Pengenalan Turbin Air

Turbin air merupakan salah satu komponen utama dari sebuah PLTMH, berfungsi untuk mengubah energi hidrolis (baik energi potensial maupun energi kinetis) menjadi gerakan mekanis, yaitu gerakan berputar. Gerakan putar yang dihasilkan turbin nantinya digunakan untuk menggerakan generator, dari putaran generator akan dihasilkan suatu tegangan listrik.

Contoh paling mudah yang dapat kita lihat adalah **kincir air**. Kincir air banyak digunakan sejak ribuan tahun yang lalu. Seluruh penjuru dunia masih menggunakan kincir air untuk penggilingan atau menggerakkan generator kecil. Dalam konstruksi mesin yang klasik, kincir air ditandai oleh poros mendatar (horisontal).

Pada dasarnya kita dapat membedakan kincir air menjadi 3 tipe:

	Kincir air tipe *undershot* Tipe ini adalah yang tertua. Vitruv membuat tipe kincir air ini pada abad pertama sebelum masehi. Kincir air ini dapat digunakan di sungai dengan aliran yang cepat. Efisiensinya sekitar 25%. Pada abad ke-19, tipe kincir ini menjadi lebih berkembang. Terutama yang didisain oleh Poncelet yang mencapai efisiensi sebesar 70%.
	Kincir air tipe *overshot* Kincir air tipe overshot sudah digunakan sejak abad ke-14. Jika kincir ini dibuat dengan baik dan ketinggian reservoir air bagian atas memperbolehkan diameter kincir yang besar, efisiensinya mencapai 75% atau bahkan kadang-kadang mencapai 80%.

	Kincir ini adalah tipe kincir yang paling terbaru, yang dikembangkan pada abad ke-16. Kincir ini adalah gabungan antara dua buah konstruksi dasar. Versi terdahulunya dapat mencapai efisiensi sebesar 45%, tipe-tipe modern dapat mencapai efisiensi sebesar 75%.

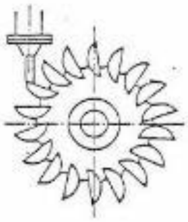
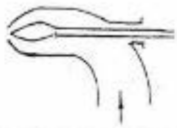
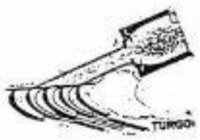
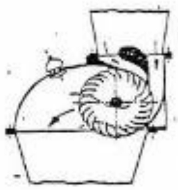
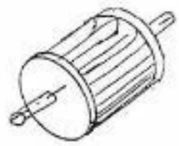
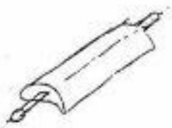
Perkembangan turbin air tidak hanya berhenti di kincir air tersebut diatas, berbagai penemuan dan penelitian dilakukan untuk mendapatkan turbin air yang lebih efisien, lebih mudah dibuat, dan dapat membangkitkan daya yang besar walaupun dengan ukuran turbin yang relatif lebih kecil (kincir air yang efisien dengan diameter 8 m dapat digantikan dengan turbin cross flow dengan diameter 0.5 m).

Saat ini terdapat beberapa jenis turbin air modern yang sangat umum dipakai, dengan keunggulan dan kelemahan masing-masing, yang dapat mencakup daya sekitar mulai puluhan Watt hingga puluhan MegaWatt.

Turbin modern dapat dibagi dalam dua klasifikasi utama, yaitu:

Turbin Impuls

Memanfaat energi kinetik fluida, terutama dipengaruhi tekanan air (beda tinggi). Air yang jatuh bekerja hanya pada beberapa bagian *runner*. Seluruh energi hidrolis diubah menjadi energi kinetik. Tidak terjadi perubahan tekanan pada air sebelum dan sesuah melewati *runner*. *Runner* adalah bagian utama turbin yang mengubah energi hidrolis menjadi energi kinetis (putaran).

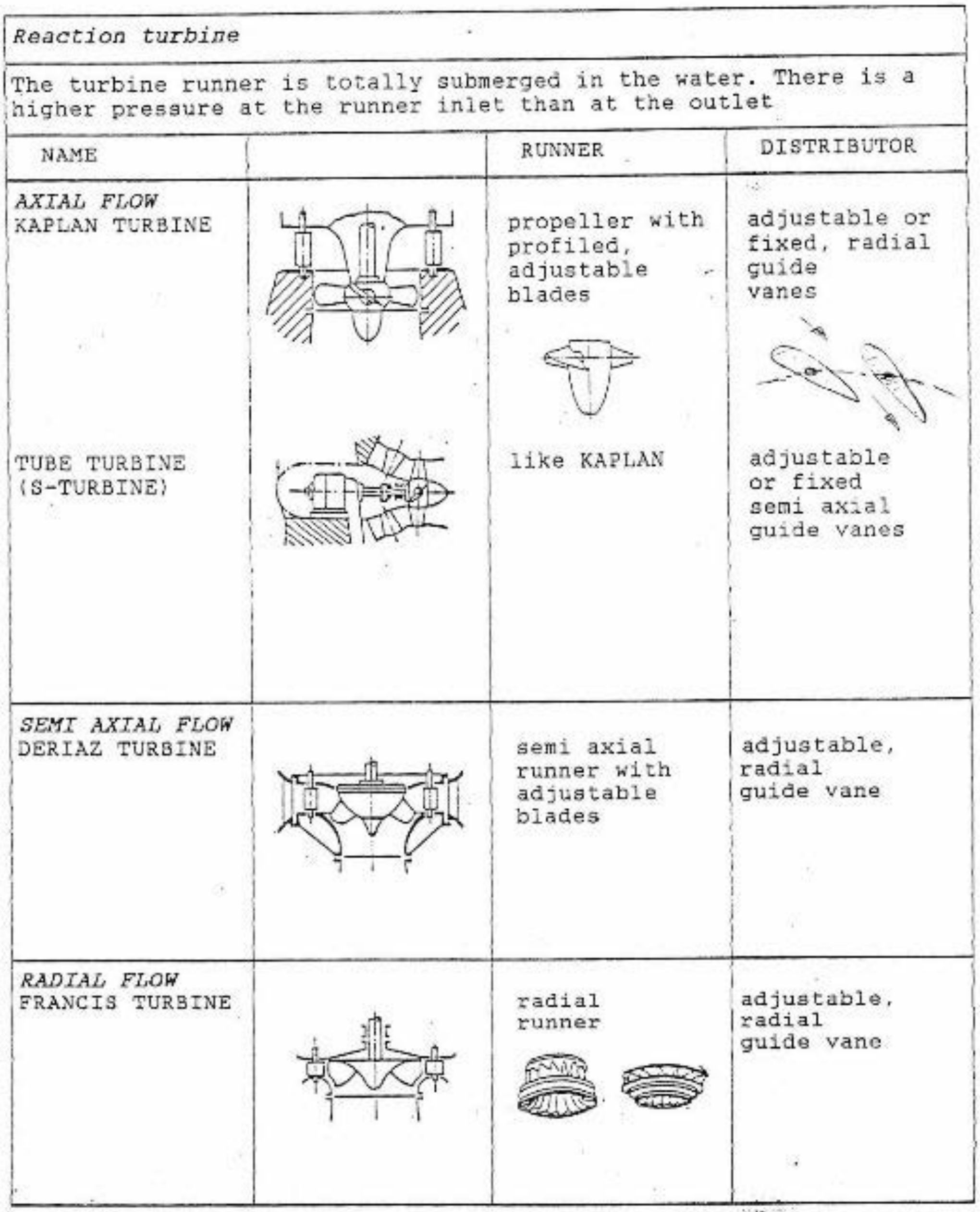
impuls turbine			
The acts only on a part of the runner. All hydraulic energy is converted into kinetic energy before entering the runner. The fluid does not change pressure on its way through the runner			
NAME		RUNNER	GUIDE VANE
PELTON TURBINE		numerous double buckets The water jet enters the runner tangentially 	1 to 6 adjustable spear valves 
TURGO IMPULSE		numerous double bended buckets The water jet enters the plane of the runner at an angle of 20° 	1 to adjustable spear valves
CROSS FLOW		cylindical runner with 	one adjustable profiled 

Gambar 2.1. Turbin Impuls

Turbin Reaksi

Memanfaatkan energi gravitasi pada fluida, terutama dipengaruhi oleh debit air. Seluruh bagian runner ditenggelamkan / dipenuhi oleh air. Terdapat perbedaan tekanan air, dimana tekanan sebelum melewati

runner lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan air setelah melewati runner.



Reaction turbine			
The turbine runner is totally submerged in the water. There is a higher pressure at the runner inlet than at the outlet			
NAME		RUNNER	DISTRIBUTOR
AXIAL FLOW KAPLAN TURBINE		propeller with profiled, adjustable blades	adjustable or fixed, radial guide vanes
TUBE TURBINE (S-TURBINE)		like KAPLAN	adjustable or fixed semi axial guide vanes
SEMI AXIAL FLOW DERIAZ TURBINE		semi axial runner with adjustable blades	adjustable, radial guide vane
RADIAL FLOW FRANCIS TURBINE		radial runner	adjustable, radial guide vane

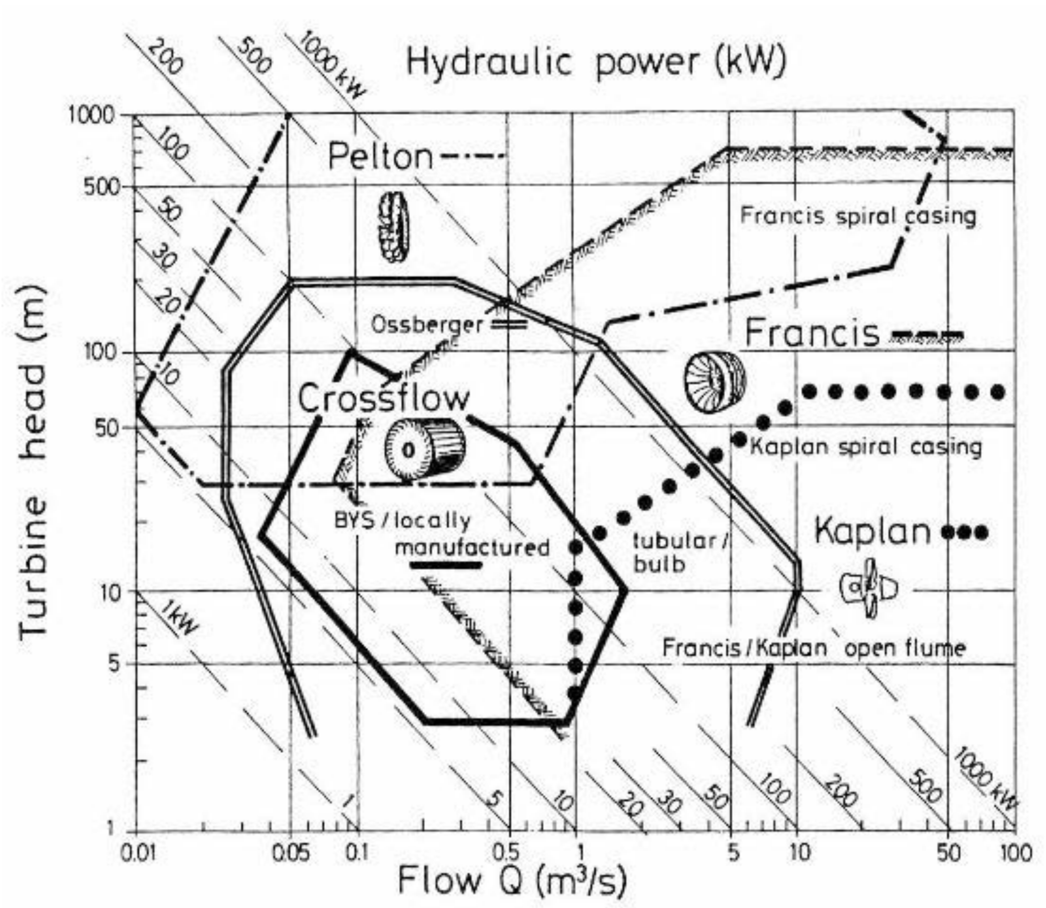
Gambar 2.2. Turbin Reaksi

Batasan dan Penggunaan Turbin

Setiap turbin memiliki aplikasi dengan batas spesifiknya masing-masing. Adalah mungkin, bahwa tipe turbin yang berbeda tersebut layak untuk suatu pembangkit. Penawaran dari pabrikan yang berbeda harus

dibandingkan dahulu. Dalam banyak kasus, pertimbangan ekonomi cukup menentukan dalam pemilihan turbin. Penentuannya tidak selalu jelas dan mudah dan memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik spesifik turbin.

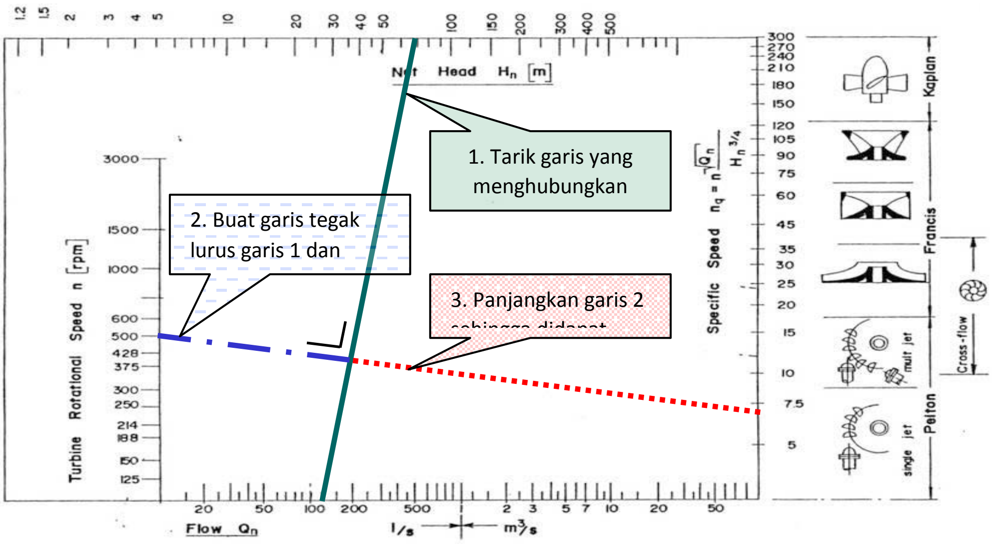
Terdapat sumber-sumber diagram dan rekomendasi aplikasi yang berbeda untuk memilih tipe turbin yang sesuai. Pabrikan turbin besar dan kecil menyajikan program pabrikasi turbin mereka pada diagram pemilihan.



Gambar 2.3. Aplikasi untuk batasan umum tipe-tipe turbin air yang berbeda (*sumber: MHPG Publication Vol. 11*)

Seperti dilihat pada Gambar 2.3, turbin air jenis pelton hanya cocok dipergunakan untuk kondisi head yang tinggi (turbin impuls). Sedangkan turbin air jenis propeller / kaplan lebih cocok dipergunakan untuk head

yang rendah dengan debit yang lebih besar (turbin reaksi). Turbin crossflow berada di area pertengahan, dengan head yang tidak terlalu tinggi dan flow yang juga tidak terlalu besar. Sedangkan turbin Francis dapat mencakup luasan yang sangat besar, dengan catatan tiap turbin didisain untuk satu keperluan yang spesifik.



Gambar 2.4. Contoh untuk penaksiran yang cepat untuk tipe dan kecepatan turbin yang sesuai, dalam fungsi head dan debit

2.6. Kriteria pemilihan generator

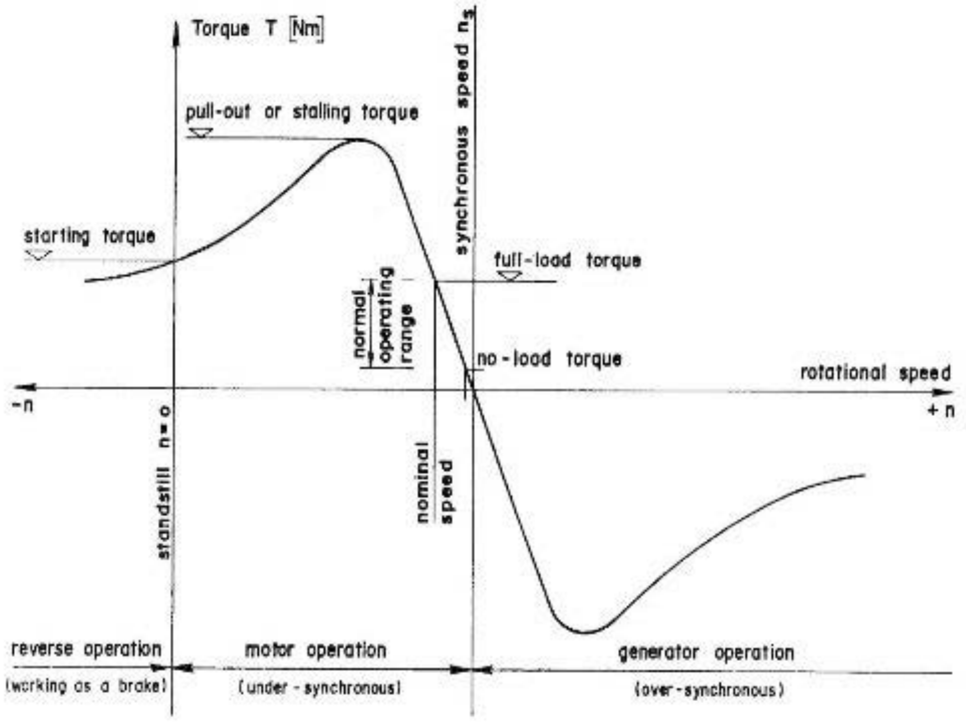
Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi mikro hidro dengan sistem AC ada dua tipe generator yang biasa digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fase maupun 3 fase.

Generator Sinkron

Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, designnya telah mengalami penyempurnaan yang meningkatkan bertujuan untuk meningkatkan performansi, efisiensi dan perwatannya.

Generator Asinkron (induksi)

Generator asinkron (induksi) merupakan mesin induksi (motor) yang digunakan sebagai generator dengan bantuan eksitasi dari luar, baik dengan menggunakan kapasitor (isolated system) maupun terhubung dengan jala-jala PLN. Dari karakteristik kopel kecepatan, mesin induksi dapat dijadikan sebagai generator jika berada pada daerah rem sinkron lebih dan daerah rem arus lawan (n_r>n_s) dimana slip bernilai negative.



Gambar 31 Daerah operasi mesin Induksi

Prinsip kerja

Perbedaan kecepatan putaran rotor dengan kecepatan medan putar stator ini disebut ***slip.***

$$slip = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Dimana n_s = kecepatan sinkron (kecepatan medan putar stator)

n_r = kecepatan rotor

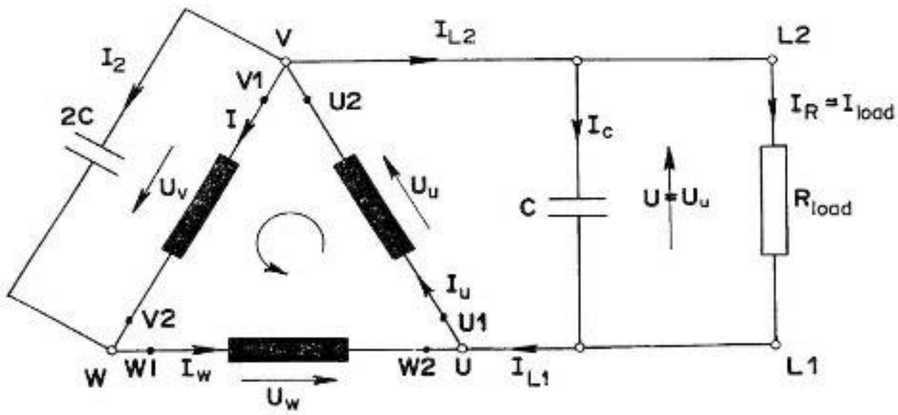
mesin induksi (motor) tanpa beban slip-nya akan sangat kecil, lebih kecil dari 0.01 (1%). Untuk sebuah mesin dengan daya 1 kW. Slip beban penuh

akan berkisar antara 0.05 (5%). Jadi bila beban bertambah, arus induksi pada rotor akan semakin besar, putaran rotor akan cenderung menurun sehingga slip akan semakin besar. Pada umumnya semakin besar mesin maka slipnya semakin kecil.

Output satu fasa dari generator tiga fasa (C2C Connection)

Ada cara dimana mesin induksi tiga fasa dapat digunakan sebagai generator satu fasa yaitu dengan menggunakan sambungan C2C.

- Gunakan mesin induksi 3 fasa biasa (220/380 V) dan sambungkan dalam hubungan Delta
- Hitung kapsitansi per phasa (kapasitor yang dibutuhkan)
- Sebagai ganti menyambungkan "C" pada tiap pasa; tetapi sambungkan 2xC pada salah satu fasa, C pada fasa yang lain dan fasa ketiga tanpa kapasitor (C2C)



Gambar 3.2 C2C connection

Syarat Mesin Induksi Sebagai Generator

Ada beberapa hal yang perlu dipenuhi untuk dapat menggunakan mesin induksi sebagai generator, diantaranya adalah;

1. adanya daya input dari luar untuk memutar rotor.
2. kecepatan putar rotor lebih besar dari kecepatan medan putar stator/kecepatan sinkronnya (n_r>n_s)
3. adanya sumber daya reaktif dari luar.

4. adanya remanensi magnet.

Contoh :Sebuah motor induksi 7.5 kW, 50 Hz, 230/400 V, full load speed 1450 rpm, 4 kutub.

Tentukan;
a. full load slip
b. pada kecepatan berapa mesin beroperasi sebagai generator

Jawab;

a. full load speed motor n_r =1450 rpm

   kecepatan sinkron $n_s = \frac{120 \times f}{p}$, $n_s = \frac{120 \times 50}{4}$ = 1500 rpm

   $slip = \frac{n_s - n_r}{n_s}$, $slip = \frac{1500 - 1450}{1500}$ ***= 0.033***

b. karena slip full load pada saat beroperasi sebagi generator adalah sama dengan nilai slip motor tetapi negative, maka s = - 0.033 dengan meyusun persamaan diatas didapatkan :

   $s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$ maka $n_r = n_s(1 - s)$

   n_r = 1500 (1 – { -0.033}) , **n_r = 1550 rpm**

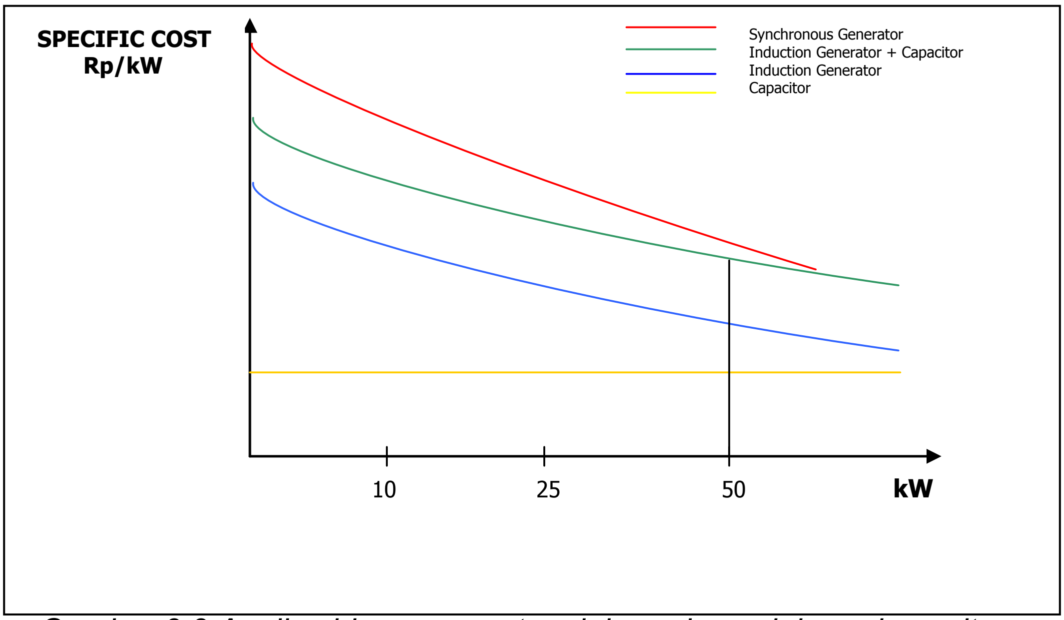
Perbandingan Generator Sinkron dan Asinkron

Terlepas dari karakterisitik teknis dan non teknis, masing-masing generator memiliki kelebihan dan kekurangan dalam aplikasinya sebagai mesin konversi energi. Berikut perbandingan kelebihan dan kekurangan dari mesin –mesin tersebut

Item	**Generator Sinkron**	**Generator Asinkron**
Ketersediaan	Biasanya perlu dipesan khusus dan untuk daya kecil sulit ditemukan dipasaran	Mudah didapat pada hampir semua kategori daya

Konstruksi	Cukup rumit, kadang dilengkapi dengan slip rings, diode dan rangkaian external	Kompak dan simple.
Harga	Untuk daya kecil <50 kW harganya lebih mahal dibanding daya yang sama untuk generator asinkron	Harga relative murah tetapi kapasitor harus diganti setelah waktu tertentu (±2 tahun)
Perawatan	Perawatan dilakukan pada field winding dan sikat arang/brush (jika ada)	Perawatan dilakukan pada stator, pendinginan, tetapi tidak diperlukan untuk rotor type squirrel cage
Sinkronisasi	Diperlukan synchronizer untuk parallel ke jaringan	Tidak dibutuhkan alat sinkronisasi
Independensi Operasi	Operasi independent memungkinkan	operasi independent tidak memungkinkan, karena dibutuhkan exsitasi dari luar (jaringan atau kapasitor)
Penyesuaian Power Factor	Operasi pada power factor yang dikehendaki memungkinkan disesuaikan dengan respon load factor	Power factor ditentukan oleh output generator dan tidak dapat disesuaikan
Arus exsitasi	Menggunakan exsitasi DC	Diambil dari jaringan atau menggunakan kapasitor
Motor start (inductive load)	Tahan terhadap arus start up motor	Tidak tahan untuk arus starting yang besar (bisa kolaps dan kehilangan remanensi magnet)
Overspeed	Tidak tahan terhadap	100 % kecepatan

	overspeed (belitan bisa terbakar) jika terjadi lebih dari waktu tertentu	nominalnya masih tahan
Penyesuaian tegangan dan frekuensi	Memungkinkan	Tidak memungkinkan. Ditentukan oleh tegangan dan frekuensi suplai (kapasitor atau jaringan)
Efisiensi	Efisiensi pada part maupun full load bagus >85%	Efisiensi rendah <70%



Gambar 3.3 Analisa biaya generator sinkron dan asinkron+kapasitor

Pemilihan jenis generator dan power output

Tabel berikut dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan spesfikasi teknik nya:

Daya terpasang	s.d 10 kW	10 – 30	>30 kW

		kW	
Tipe generator dan fasa	Sinkron atau asinkron 1 atau 3 fasa	Sinkron atau asinkron 3 fasa	Sinkron 3 fasa

Perhitungan untuk menentukan ukuran generator dilakukan berdasarkan rumusan berikut :

$$\text{Generator KVA} = \frac{\text{Power Output in kW}}{A \times B \times C \times D} \quad \text{(generator sinkron)}$$

$$\text{Generator KVA} = \frac{\text{Power Output in kW}}{A \times B} \quad \text{(generator Asinkron)}$$

Setelah didapatkan nilai kVA generator, disarankan untuk ditambah safety factor 30% yang bertujuan untuk;

- Memungkinkan jika output turbin lebih besar dari yang direncanakan
- Jika motor besar (>10% daya generator) disuplai dari pembangkit, maka generator harus mampu menahan arus start.
- Ketika menggunakan ELC generator selalu beroperasi full load.

Kecepatan dan jumlah kutub generator

Kecepatangenerator ditentukan dengan rumusan berikut;

<u>Untuk generator sinkron</u>

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

Dimana:

n_s = kecepatan generator (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

Untuk generator Asinkron

$$n_r = n_s(1-s)$$

Dimana : n_s = kecepatan sinkron (kecepatan medan putar stator)

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

n_r = kecepatan rotor (sebagai generator)

s = slip ,

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Catatan : n_r yang digunakan dalam perhitungan slip adalah kecepatan rotor pada saat full load sebagai motor (diberikan supplier/pabrik). Lihat contoh perhitungan pada bagian <u>*Syarat Mesin Induksi Sebagai Generator*</u> *diatas.*

BAB III
POTENSI DAYA AIR, DAYA TURBIN DAN DAYA GENERATOR

3.1. Pendataan PLTMH di suatu wilayah

Penentuan arah utara :

Penentuan arah utara peta dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Utara magnetis.
2. Utara geografis.

Utara magnetis.

Utara magnetis adalah utara yang mengarah ke kutub magnetis, atau yang mengarah ke meridian magnetis.

Perbedaan arah meridian magnetis dengan meridian geografis disebut deklinasi jarum magnit atau penyimpangan arah jarum magnit.

Dapat dimengerti bahwa deklinasi untuk tempat-tempat diatas permukaan bumi tidak akan sama.Makin dekat letak suatu titik dari kutub magnetis, maka makin besar deklinasinya.

Sebagai contoh perbedaan deklinasi antara jawa barat dengan jawa timur sekitar 1,2°, sehingga perubahan deklinasi per km untuk Indonesia yang letaknya jauh dari kutub-kutub magnetis hanya ada 0,07‟.

Perubahan arah jarum magnit yang disebabkan oleh adanya benda-benda yang terbuat dari logam disebut atraksi local.

Pada pengukuran guna pembuatan peta, arah utara bisa menggunakan utara magnit tetapi peta tersebut tidak dapat digabungkan dengan peta-peta lainnya karena utara magnitnya berbeda.

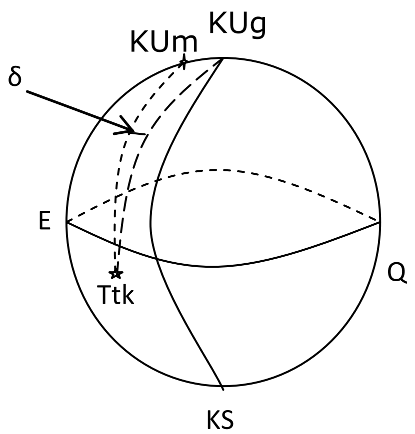
Utara geografis.

Utara geografis adalah utara yang berpatokan terhadap meridian geografis (kutub utara).

Penentuan azimuth ke suatu titik dapat dilakukan dengan pengamatan benda-benda langit seperti mata hari dan bintang.

Penentuan azimuth dengan pengamatan mata hari dapat dilakukan dengan :

1. Metode tinggi mata hari.
2. Metode sudut waktu.



Keterangan :

KUg : Kutub Utara geografis.

KUm : Kutub Utara magnetis.

E – Q : Equator.

Ttk : Posisi titik.

KS : Kutub selatan.

δ : Deklinasi magnit.

Garis yang menghubungkan KUg dengan KS disebut garis bujur. Dimana bujur nol adalah garis bujur yang melalui kota greenwith di inggris.

Garis bujur dihitung mulai dari garis bujur nol kearah timur.

Sedang garis yang menghubungkan E – Q disebut garis ekuator yang sejajar dengan garis lintang.

Garis equator adalah garis lintang 0°.

Garis lintang dihitung dari equator sebagai lintang nol positip kearah utara dan sebaliknya negatip kearah selatan.

PENENTUAN POSISI HORISONTAL CARA POLIGON

1. Pengertian.

Poligon adalah rangkaian titik-titik yang dihubungkan oleh suatu garis khayal

dipermukaan bumi.

Poligon merupakan salah satu metoda penentuan posisi horisontal.

2.Pengukuran Poligon.

Didalam menentukan posisi horisontal cara poligon, ada dua hal yang perlu diukur

- sudut
- jarak

3. Hitungan poligon.

- **Penentuan Kwadran suatu arah.**

  Pembagian kwadran dalam ilmu geodesi berbeda dengan pembagian kwadran

  didalam ilmu ukur sudut.

Geodesi

X negatip Y positip IV	X positip Y positip I
III	II

Ukur sudut

II	I
III	IV

X negatip   X positip

Y negatip   Y negatip

Dari gambar diatas disimpulkan bahwa :

- kwadran I besarnya dari 0 - 90
- kwadran II besarnya dari 90 - 180
- kwadran III besarnya dari 180 - 270
- kwadran IV besarnya dari 270 - 360

Untuk menentukan kwadran suatu jurusan α digunakan rumus tangen:

$$Tg\ \alpha ab = \frac{Xb - Xa}{Yb - Ya} = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

tanda dari tg αab serta arah dari αab tergantung dari tanda ΔX dan ΔY, seperti

- ΔX positip, ΔY positip maka αab berada di kwadran I.
- ΔX positip, ΔY negatip maka αab berada di kwadran II.
- ΔX negatip, ΔY negatip maka αab berada di kwadran III.
- ΔX negatip, ΔY positip maka αab berada di kwadran IV.

Karena harga tg αab untuk kwadran I dan III adalah sama (juga kwadran II dan IV) bila dihitung menggunakan kalkulator maka bila :

- ΔX positip, ΔY positip harga tg αab sama dengan harga hasil hitungan.
- ΔX positip, ΔY negatip harga tg αab sama dengan harga hasil hitungan ditambah 180°.
- ΔX negatip, ΔY negatip harga tg αab sama dengan harga hasil hitungan ditambah 180°.
- ΔX negatip, ΔY positip harga tg αab sama dengan harga hasil hitungan ditambah 360°.

Contoh :

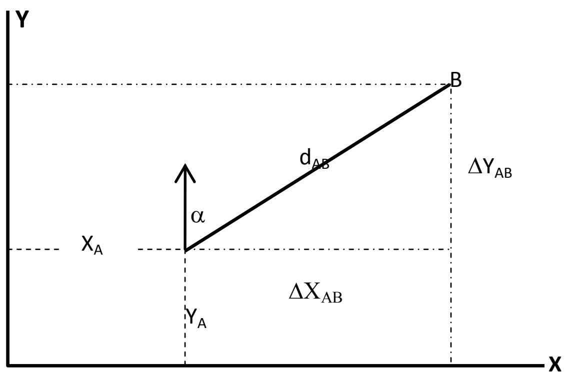
Tentukan kwadran arah dua buah titik A (5,8) dengan titik B (3,2)

Jawab :

$$Tg\ \alpha ab = \frac{Xb - Xa}{Yb - Ya} = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{3 - 5}{2 - 8} = \frac{-2}{-6} = \frac{-1}{-3}$$

Karena ΔX dan ΔY keduanya negatip maka arah A ke B terletak pada kwadran III.

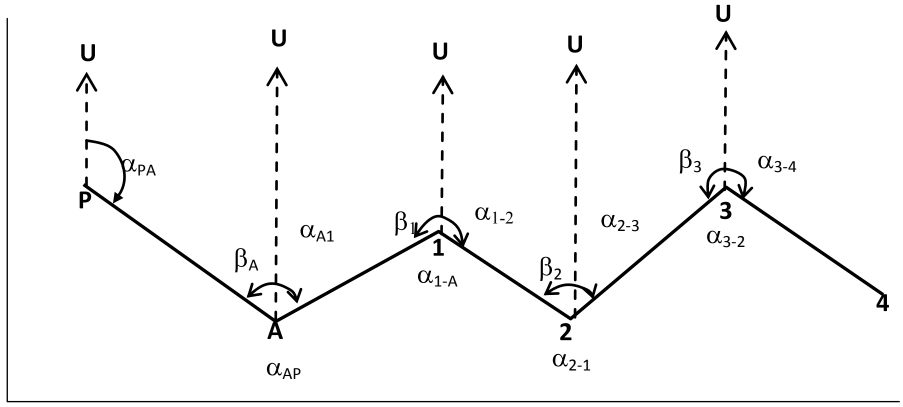
- **Prinsip Dasar Hitungan Koordinat**.



$Xb = Xa + dab.Sin\ \alpha ab$

$Yb = Ya + dab.Cos\ \alpha ab$

- **Prinsip dasar Hitungan Sudut Jurusan Sisi Poligon**.



Sesuai dengan defenisi, sudut adalah selisih arah kanan dikurangi arah kiri, maka :

$$\beta a = \alpha a1 - \alpha ap$$

$$\alpha a1 = \alpha ap + \beta a \; ; \; \alpha ap = \alpha pa - 180°$$

$$= \alpha pa + \beta a - 180°$$

$$\alpha 1a = \alpha a1 - 180° = \alpha pa + \beta a - 2.\ 180°$$

demikian seterusnya untuk jurusan berikutnya :

$$\alpha 12 = \alpha 1a + \beta 1 = \alpha pa + \beta a + \beta b1 - 2.\ 180°$$

$$\alpha 23 = \alpha pa + \beta a + \beta 1 + \beta 2 - 3.\ 180°$$

$$\alpha 34 = \alpha pa + \beta a + \beta 1 + \beta 2 + \beta 3 - 4.\ 180°$$

a. Rangkuman

Kegiatan belajar membahas tentang :

i. Pengertian polygon.

Poligon adalah rangkaian titik-titik yang dihubungkan oleh suatu garis khayal dipermukaan bumi.

Poligon merupakan salah satu metoda penentuan posisi horisontal.

ii. Pengukuran polygon.

Dalam polygon yang diukur adalah sudut dan jarak.

iii. Hitungan polygon.

1. Penentuan kwadran
2. Prinsip dasar hitungan koordinat.
3. Prinsip dasar hitungan sudut jurusan.
4. Syarat geometrik polygon.

iv. Bentuk polygon

1. Tertutup jika titik awal sama dengan titik akhir.
2. Terbuka jika titik awal tidak sama dengan titik akhir.

1.7 Lembar Kerja Siswa.

1.7.1 Tujuan.

1. Peserta dapat melakukan pengukuran sudut.
2. Peserta dapat melakukan pengukuran jarak.
3. Peserta dapat melakukan perhitungan koordinat.

1.7.2 Petunjuk Umum.

1. Pembacaan sudut horizontal dicatat untuk penentuan sudut jurusan.
2. Pembacaan jarak dicatat untuk penentuan posisi horizontal.

1.7.3 Perlengkapan Alat.

1. Theodolit, statip dan rambu
2. Patok-patok palu dan paku.
3. Daftar ukur dan data board

1.7.4 Keselamatan kerja.

1. Hati-hati pada waktu membawa/memindahkan alat.
2. Setiap memindahkan alat sebaiknya dimasukkan kedalam tempatnya untuk keselamatan alat.
3. Lindungi pesawat dari panas dan hujan.
4. Hati-hati dalam melakukan pengukuran karena kemungkinan tanahnya licin atau curam.

1.7.5 Langkah Kerja.

- Langkah Pengukuran :
  1. Tempatkan dan stel alat theodolit di titik A serta rambu dititik B, dan H.
  2. Arahkan theodolit ke rambu H kemudian baca sudut horisontalnya misalnya αH. Kemudian putar theodolit ke arah B dan baca sudut horisontalnya misalnya αB.

3. Ukur Jarak A-B dan A - H
4. Pindahkan theodolit ke titik B dan rambu di titik A dan C.
5. Arahkan theodolit ke rambu A kemudian baca sudut horisontalnya misalnya αA. Kemudian putar theodolit ke titik C dan baca sudut horisontalnya misalnya αC.
6. Ukur Jarak B – C.
7. Ulangi langkah diatas dengan memindahkan alat ke titik C.
8. Demikian seterusnya sampai semua sudut-sudut dan jaraknya selesai diukur.

Pelaksanaan kegiatan pembangunan dalam bentuk proyek-proyek pembangunan fisik diyakini menimbulkan dampak pada lingkungan mikro dari lokasi proyek tersebut. Hal ini mendorong diberlakukannya pelaksanaan studi kelayakan bagi rencana kegiatan proyek-proyek pembangunan. Studi tersebut merupakan perangkat untuk melakukan identifikasi dan evaluasi mengenai dampak yang akan terjadi akibat pelaksanaan suatu kegiatan proyek pembangunan, serta perumusan pengelolaan dan pemantauan lingkungan berkenaan dengan adanya dampak tersebut.

Dampak lingkungan terjadi karena adanya interaksi antara komponen-komponen dari kegiatan proyek dengan komponen-komponen lingkungan di lokasi proyek. Akibat interaksi tersebut, dampak primer yang timbul pada satu komponen lingkungan dapat pula menyebabkan terjadinya dampak sekunder dan tertier pada komponen lingkungan yang berbeda. Dampak lingkungan akibat kegiatan proyek pembangunan dapat berupa dampak temporer ataupun permanen. Selain itu, dampak yang timbul pada lingkungan dapat pula menyebabkan dampak balik pada kegiatan proyek.

Sifat dan besaran dampak pada satu komponen lingkungan sangat tergantung kepada karakteristik komponen lingkungan tersebut dan karakteristik dari komponen-komponen kegiatan yang menimbulkan dampak terhadapnya. Dampak kegiatan pembangunan yang mengena kepada komponen-komponen lingkungan yang berkaitan dengan aktifitas perekonomian masyarakat di lokasi kegiatan proyek dikategorikan sebagai dampak terhadap aspek sosial ekonomi. Sedangkan dampak yang berkaitan dengan permasalahan lingkungan disebut dampak terhadap aspek lingkungan.

Dampak yang terjadi pada aspek sosial ekonomi dan lingkungan akibat adanya kegiatan pembangunan proyek, disebabkan adanya perubahan pada tingkat kesejahteraan masyarakat di sekitar kegiatan tersebut. Perubahan tersebut merupakan refleksi dari perubahan yang terjadi pada komponen-komponen lingkungan yang terkait dengan perekonomian masyarakat, sebagai akibat dari dilaksanakannya kegiatan proyek.

Secara umum, dampak kegiatan proyek terhadap kesejahteraan masyarakat dapat terjadi melalui interaksi komponen-komponen kegiatan proyek dengan komponen-komponen lingkungan yang menyebabkan perubahan pada penggunaan lahan, tingkat produktivitas lahan, penduduk serta kesempatan kerja dan peluang berusaha. Perubahan pada setiap komponen lingkungan tersebut akan membentuk satu rangkaian perubahan yang pada gilirannya akan bermuara pada perubahan kesejahteraan masyarakat di sekitar proyek. Hal ini dapat diprakirakan bahwa satu kelompok masyarakat akan mengalami perubahan kesejahteraan yang bersifat negatif, karena satu rangkaian perubahan. Akan tetapi kelompok masyarakat tersebut diprakirakan akan mendapatkan perubahan yang bersifat positif, karena adanya perubahan pada rangkaian yang lain, maka di dalam mengenali dampak

pembangunan terhadap aspek sosial ekonomi perlu diidentifikasi secara jelas.

Struktur mata pencaharian dapat mengalami perubahan karena adanya pengerahan tenaga kerja dalam jumlah yang signifikan pada sektor kegiatan ekonomi tertentu, sehingga terjadi pergeseran komposisi sektor-sektor di dalam struktur mata pencaharian. Misalnya pengoperasian sebuah pabrik pengolahan makanan di daerah pedesaan akan menyerap tenaga kerja dalam jumlah yang relatif besar, sehingga akan mengubah peran sektor industri menjadi mata pencaharian tetap bagi banyak rumah tangga penduduk setempat. Berdasarkan jumlah tenaga kerja yang diserapnya, sektor industri menggeser sejumlah sektor lain yang semula menyerap tenaga kerja lebih banyak daripada sektor industri. Dengan demikian, terjadilah perubahan struktur mata pencaharian penduduk sebagai akibat dari keberadaan pabrik di daerah pedesaan tersebut.

Adapun sektor-sektor kegiatan ekonomi mencerminkan pola nafkah tunggal rumah tangga penduduk. Sebagian penduduk memiliki pola nafkah tunggal bagi rumah tangganya , artinya rumah tangga tersebut hanya memiliki pencari nafkah tunggal yang mengandalkan satu sektor kegiatan ekonomi saja untuk pelingkup.

Pengenalan dampak lingkungan dilakukan melalui proses identifikasi. Langkah-langkah yang ditempuh untuk identifikasi dampak yang timbul akibat kegiatan proyek pembangunan adalah :

- Mengenali komponen kegiatan proyek yang di perkirakan akan menimbulkan dampak;
- Mengenali komponen lingkungan dalam aspek sosial-ekonomi yang diperkirakan akan terkena dampak;

- Mengenali interaksi antara komponen kegiatan yang diperkirakan akan menimbulkan dampak dengan komponen lingkungan yang akan terkena dampak.

Melalui langkah-langkah tersebut di atas akan didapati bahwa kegiatan proyek pembangunan yang berbeda dapat menimbulkan dampak terhadap aspek sosial-ekonomi dan lingkungan yang berbeda pula, meskipun kegiatan-kegiatan proyek tersebut dilangsungkan pada satu lokasi yang sama. Secara umum dampak kegiatan proyek pembangunan terhadap aspek sosial-ekonomi dapat dikenali melalui identifikasi perubahan yang mengena pada :

1) Sruktur Kegiatan Ekonomi Masyarakat

Perubahan pola nafkah tunggal yang satu ke pola yang lain terjadi apabila terjadi alih profesi. Misalnya rumahtangga petani yang menggunakan uang dari kompensasi bagi lahan pertaniannya yang digunakan oleh satu proyek Pembangunan untuk modal kegiatan industri kecil di mana hanya petani, rumahtangga yang menjalankan kegiatan produksi, baik pada waktu di sektor pertanian ke sektor industri kecil.

2) Sumberdaya Kegiatan Ekonomi Masayarakat

Hal ini dapat dilihat pada perubahan pola kepemilikan dan penguasaan sumber daya, pola pemanfaatan sumber daya, nilai sumber daya, dan sumberdaya milik umum (common property).

Perubahan tersebut adalah pada sumberdaya lahan. Perubahan tersebut disebabkan oleh adanya kebutuhan proyek akan lahan, sehingga dibebaskanlah sejumlah lahan yang dimiliki masyarakat dengan memberikan kompensasi kepada masyarakat tersebut. Pengalihan pemilikan dan penguasaan lahan dari masyarakat ke proyek dengan sendirinya mengubah akses masyarakat terhadap sumberdaya lahan

yang umumnya merupakan lahan pertanian sebagai sumber pendapatannya.

3) Kinerja Kegiatan Ekonomi Masyarakat

Perubahan kesempatan kerja dan peluang berusaha dapat pula berarti hilangnya kesempatan kerja dan berusaha bagi sejumlah masyarakat setempat karena keberadaan proyek telah menurunkan kinerja kegiatan ekonomi yang ditekuni oleh masyarakat tersebut. Contoh yang sering kali ditemui dalam kasus ini adalah masyarakat yang semula bekerja sebagai buruh tani yang kehilangan kesempatan kerja karena lahan pertanian tempatnya bekerja dibebaskan untuk keperluan proyek dan kemudian dialihkan penggunaannya.

3.2. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkitkan

2.2.1. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkit

Persamaan utama dalam proyek Mikro Hidro adalah persamaan yang menghasilkan daya listrik dalam satuan watt, yaitu :

$$P_{hydr} = Q \times \rho \times g \times H_n$$

dimana :

P_{hydr} = **daya hidrolik** dalam Watt [W], tanpa mempertimbangkan pengurangan akibat efisiensi peralatan (turbin, generator dll)

Q = debit dalam m^3/detik

ρ = kekentalan air = kira-kira 1000 kg/m^3

g = percepatan gravitasi = 9.81 m/m^2

H_{nett} = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

Pengukuran debit air.

Perincian kegiatan survai dan investigasi yang diperlukan adalah

sebagai berikut:

(1) Observasi meteorologi di sekitar tempat kedudukan calon PLTMH, yang terdiri dari pengukuran dan pencatatan tempe-ratur, curah hujan dan intensitasnya, dan lain-lain.
(2) Pengukuran dan pencatatan temperatur air sungai dan penga-matan kwalitasnya pada beberapa lokasi tertentu di sebelah hilir calon PLTMH.
(3) Pengukuran dan pencatatan debit air sungai pada tempat kedudukan calon PLTMH.

Data-data curah hujan dan debit sungai merupakan data-data yang paling fundamental dalam merencanakan pembangunan suatu PLTMH. Dan ketepatan dalam pemilihan-pemilihan lokasi serta pemilihan type peralatannya (baik untuk curah hujan maupun untuk debit sungai) adalah merupakan faktor-faktor yang menentukan pada kwalitas data yang kelak akan diperoleh.

Khususnya dalam penempatan stasiun pencatat debit disarankan agar memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

(1) Supaya diusahakan lokasi yang berdekatan dengan calon kedudukan PLTMH, tetapi diperhatikan agar dapat. dihindarkan fluktuasi debit yang dipengaruhi oleh adanya kegiatan pelaksanaan pembangunan PLTMH yang bersangkutan.
(2) Supaya diusahakan lokasi pada bagian sungai yang lurus dengan luas penampang lintang yang hampir seragam dan dengan kemiringan yang konstan.

Pada prinsipnya pengukuran-pengukuran yang dilaksanakan umum-nya dengan metode current meter

(current meter method) dan Salt Dullition Method. Walaupun demikian dalam kondisi-kondisi tertentu dipergunakan pula metode pelampung (*floating method)* dan metode pengukuran dengan ambang pelimpah *(weir method).*

(1) Methode current meter

Pada hakekatnya cara ini termasuk cara yang sudah agak kuno, walaupun demikian mengingat pelaksanaannya yang tidak terlalu sukar, sedang hasilnyapun cukup dapat diandalkan sehingga metode current meter pada saat ini masih sangat luas pemakaiannya. Prinsip pelaksanaannya adalah dengan urutan sebagai berikut :

(a) Menentukan suatu penampang sungai untuk lokasi pelaksanaan pengukuran debit.

(b) Mengukur kecepatan aliran air yang melintasi penampang sungai tersebut di atas dengan current meter yang didasarkan pada prosedur-prosedur tertentu. Apabila kecepatan rata-rata tersebut dikalikan dengan luas penampang basahnya, maka debit sungai tersebut dapat dihitung dengan mudah. Fluktuasi permukaan air sungai dicatat oleh suatu alat pencatat dan secara otomatis tergambar sebuah grafik yang disebut hydrograf-elevasi permukaan air.

(c) Dengan melaksanakan pengukuran-pengukuran debit seperti pada ad. (b) di atas secara berulang kali, pada elevasi permukaan air yang berbeda-beda maka didapatlah angka debit sungai yang berbeda-beda pula dan dari hasil-hasilnya maka dapat dibuatkan kurva

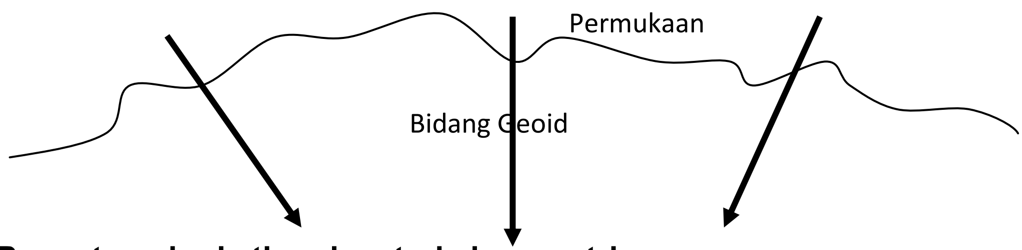
elevasi versus debit yang disebut kurva debit *(rating curve).*

(d) Dengan menggunakan rating curve ini, maka setiap elevasi permukaan air sungai yang tercatat pada hydrograf-elevasi dapat diketahui debitnya.

PENGUKURAN BEDA TINGGI

3.1. Pengertian Sipat Datar.

Yang dimaksud dengan sipat datar adalah : cara pengukuran (proses) yang menentukan tinggi titik/evaluasi atau menentukan beda tinggi antara titik yang satu dengan titik-titik lainnya. Tinggi titik-titik itu ditentukan terhadap suatu bidang persamaan, yang umumnya disebut bidang nivo pada permukaan air laut pukul rata atau geoid (gambar 1).



3.2. Penentuan beda tinggi metode barometris.

Metode penentuan beda tinggi dengan cara barometris adalah semua cara penentuan beda tinggi yang berdasarkan terhadap tekanan udara seperti : penentuan beda tinggi dengan cara slang plastik, altimeter , pressure gauge, dan tabung gelas.

Metode ini sangat tidak teliti dibanding dengan metode trigoniometris dan sipat datar, karena pengukurannya berdasarkan tekanan udara. Sedang tekanan udara disetiap tempat tidak sama.

a. Penentuan beda tinggi dengan cara slang plastic.

Alat ukur sipat datar yang paling sederhana, murah dan mudah di dapat adalah slang plastik. Waktu dulu sebelum ada slang plastik, untuk membuat bidang datar orang mempergunakan slang karet yang ada pada kedua ujung tabung gelas ini terbuka sehingga apabila slang karet diisi dengan air, maka kedua permukaan air pada tabung gelas akan terlihat dan dalam keadaan setimbang. Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam menggunakan alat ini, adalah :

- Di dalam slang tidak boleh ada gelembung-gelembung udara.
- Tidak boleh ada kebocoran
- Slang jangan sampai terpuntir atau terlipat
- Jangan sampai ada kotoran yang menyumbat di dalam slang.

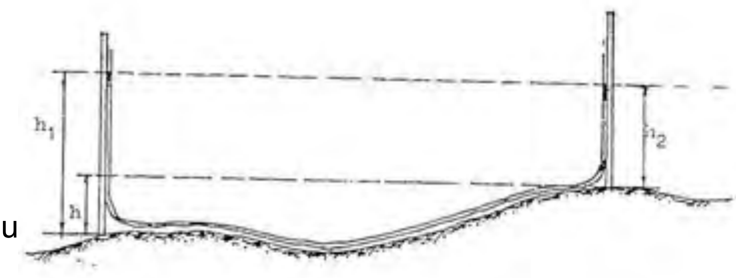
Pada saat sekarang ini dengan telah diketemukannya slang plastik bening, maka orang lebih suka menggunakan slang plastik. Keuntungan mempergunakan slang plastik ini adalah :

- Kedua permukaan zat cair pada slang plastik bening telah dapat terlihat sehingga tidak perlu lagi mempergunakan tabung gelas.
- Keadaan di dalam slang plastik dapat terlihat dengan jelas sehingga adanya gelembung udara atau kotoran secara cepat dapat diketahui dan dihilangkan.
- Penggunaannya lebih mudah, ringan dan harganya relatif lebih murah dibandingkan slang karet.

<u>Cara Pengukuran Beda Tinggi Dengan Slang Plastik</u>

Untuk mengukur beda tinggi antara dua titik dengan slang plastik dapat dilakukan sebagai berikut .

Pengu



1. Pekerjaan ini dapat dilakukan oleh dua orang
2. Siapkan slang plastik diameter 10 mm dengan panjang secukupnya (antara 25 m sampai 100 m), kemudian di isi dengan air yang bersih.
3. Pasang tongkat ukur atau rambu ukur pada kedua titik A dan B yang akan di ukur beda tingginya, kemudian tempelkan ujung-ujung plastik pada kedua tongkat atau rambu di A dan di B.
4. Pastikan bahwa tongkat atau rambu dalam keadaan tegak lurus dan slang bebas dari gelembung atau terpuntir.
5. Setelah kedua permukaan dalam keadaan tenang, kemudian baca dan catat hasil bacaannya. Atau dapat dengan cara mengukur tinggi permukaan air sampai ke titik A maupun titik B.
6. Jika hasil bacaan di titik A adalah h_1 dan bacaan di titik b h_2, maka beda tinggi titik A dan B adalah :

$$\mathbf{h = h_1 - h_2}$$

b. Penentuan beda tinggi dengan cara altimeter.

Penentuan beda tinggi dengan menggunakan altimeter sangat tidak teliti karena dipengaruhi tekanan atmosfir. Akurasi pengukurannya berkisar antara ± 5 m sampai 20 m. Untuk keperluan studi kelayakan pada suatu lokasi PLTMH maka altimeter dapat digunakan untuk mendapatkan beda tinggi kotor.

Penentuan beda tinggi dengan cara altimeter dapat dilakukan dengan menggunakan altimeter tunggal atau dua altimeter.

b.1 Penentuan beda tinggi dengan altimeter tunggal.

Langkah pengukuran :

- Baca altimeter pada titik awal.
- Pindahkan altimeter pada titik yang lain (titik 2) kemudian baca.
- Lakukan pembacaan kembali di titik awal dan bandingkan dengan pembacaan awal.
- Hitung beda tinggi dengan mengurangai pembacaan altimeter di titik 2 dan di titik 1.
- Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik Ulangi langkah-langkah diatas untuk mendapatkan nilai rata-rata beda tinggi.

b.2 Penentuan beda tinggi dengan dua altimeter.

- Seting kedua altimeter
- Tempatkan altimeter I pada titik awal P dengan melakukan pembacaan secara kontimu dengan interval waktu 5 sampai 10 menit.
- Tempatkan altimeter ke II pada titik yang lain Q kemudian baca dan catat waktunya.
- Hasil bacaan altimeter I pada waktu t misalnya h1, dan hasil bacaan altimeter II pada waktu t

misalnya h2 , maka beda tinggi antara titik P dan Q = h2 – h1.

- Ulangi langkah-langkah diatas untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.

c Penentuan beda tinggi dengan cara pressure gauge.

Alat ini dihubungkan slang plastik sehingga cara bekerjanyapun hampir sama dengan pengukuran beda tinggi menggunakan slang plastik. Oleh karena itu persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi juga sama dengan persyaratan pada pengukuran beda tinggi cara slang plastik Yakni :

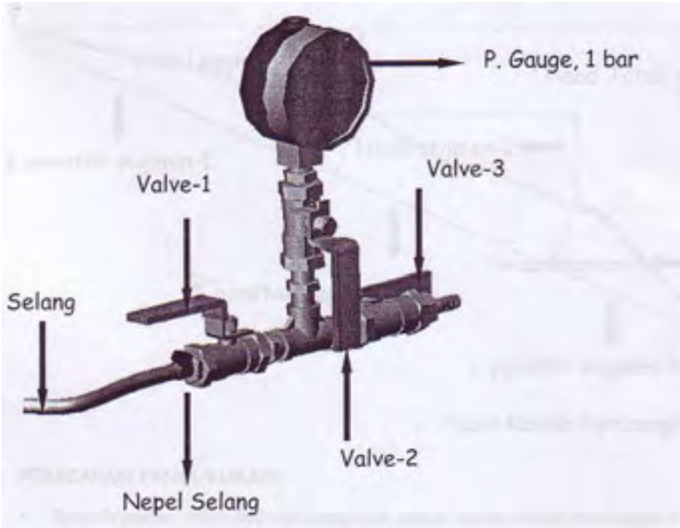
- Didalam slang tidak boleh ada gelembung udara.
- Tidak boleh ada kebocoran.
- Slang jangan sampai terpuntir atau terlipat.
- Tidak boleh ada kotoran yang menyumbat didalam slang.

Langkah kerja :

- Masukkan slang pada nevelnya dan kunci dengan klem yang telah disediakan.
- Pastikan valve-2 dalam posisi tertutup sedang valve-1 dan valve-3 dalam posisi terbuka sebelum slang diisi dengan air.
- Isi slang dengan air dengan menggunakan jeregen.(pressure gauge diletakkan pada titik awal/titik 1 dan ujung slang yang lain diletakkan di titik 2)
- Jika semua persyaratan diatas sudah terpenuhi (tidak ada gelembung udara dalam slang, slang tidak bocor dan terpuntir) maka maka bukalah

valve-2, sehingga jarum pada pressure gauge akan berputar.

- Baca/catat bacaan pada pressure gauge yang merupakan beda tinggi antara kedua titik tersebut.



3.3. Penentuan dimensi dasar komponen-komponen sipil

Data-data yang diperlukan untuk dimensi dasar komponen sipil antara lain:

(a) Peta-peta topografi.

Biasanya oleh instansi-instansi tertentu baik di tingkat pusat maupun di tingkat propinsi diterbitkan peta-peta topografi dengan skala 1 : 50.000. atau 1 : 25.000. Peta-peta ini merupakan data yang paling fundamental, sebelum kegiatan-kegiatan survai dan investigasi selanjutnya dapat direncanakan.

(b) Peta-peta geologi

Biasanya peta-peta geologi dalam skala-skala yang kecil juga diterbitkan oleh instansi-instansi tertentu, baik di tingkat pusat maupun di tingkat

propinsi. Berdasarkan peta-peta tersebut beberapa kondisi geologi dari suatu daerah tertentu sudah dapat diketahui secara kasar, misalnya mengenai formasi batuan, proses pembentukannya, umur geologi suatu lapisan, struktur geologinya, dan lain-lain.

(c) Foto Udara

Dengan foto udara akan sangatlah mudah untuk mempelajari dan menganalisa tempat kedudukan calon PLTMH dan daerah sekitarnya, dimana kesukaran-kesukaran pengamat-an setempat terhadap struktur geologinya, dengan mudah dapat diatasi dengan penggunaan foto udara, misalnya untuk mengetahui adanya daerah-daerah yang mudah longsor *(sliding zones),* daerah-daerah patahan, lipatan lipatan dan lain-lain.

Dengan memperhatikan warna dan bayangan pada foto udara, secara kasar dapat diketahui tingkat kelembaban tanah, formasi permukaan air tanah dan keadaan drainagenya, misalnya akan dapat dibedakan antara daerah lempung kedap air dan daerah formasi pasiran yang kering.

Dan pengamatan-pengamatan terhadap jenis jenis vegetasi, penyebaran serta tingkat kesuburannya pada foto tersebut, maka dapat diperkirakan formasi batuan dasar suatu daerah, kelembabannya dan lain-lain.

Data-data lainnya yang tidak kurang pentingnya adalah peta-peta land-use dan catatan-catatan kegiatan pemba-ngunan di waktu-waktu yang lampau.

SALURAN

Saluran yang dimaksud disini adalah saluran air yang digunakan untuk membawa air dari intake kepenstock pada PLTMH

Dalam desain hidraulik sebuah saluran pembawa terdapat dua parameter pokok yang harus ditentukan apabila kapasitas rencana yang diperlukan sudah diketahui yaitu :

1. Perbandingan kedalaman air dengan lebar dasar
2. Kemiringan memanjang saluran.

Rencana pendahuluan untuk saluran baik untuk irigasi maupun PLTMH menunjukkan :

- trase pada peta tata letak pendahuluan.
- ketinggian tanah pada trase.
- debit rencana dan kapasitas saluran untuk berbagai ruas saluran.
- perkiraan kemiringan dasar dan potongan melintang untuk berbagai ruas.

Rencana potongan memanjang pendahuluan dibuat dengan skala peta topografi 1 : 25.000 dan 1 : 5.000. Rencana tata letak dan potongan memanjang pendahuluan dibuat dengan skala yang sama. Kemiringan medan utama akan memperlihatkan keseluruhan gambar dengan jelas

Sipon adalah bangunan silang untuk melintaskan saluran di bawah dasar sungai atau jalan. Ini dibuat apabila muka air saluran hanya sedikit lebih tinggi dari pada muka air banjir sungai yang dilewati.

Persyaratan

- Sipon hanya dipakai untuk membawa aliran saluran yang memotong jalan atau saluran dimana tidak bisa dipakai gorong-gorong, jembatan atau talang.
- Pembuatan bangunan sipon harus mempertimbangkan kecepatan air dalam pipa sipon sebesar 1,5 – 2,50 m/dt. Kalau kecepatan air diambil terlalu besar, maka akan mengakibatkan kahilangan tekanan besar, sehingga dapat mengurangi areal

sawah yang akan diairi. Kalau kecepatan air terlalu kecil, menimbulkan pengendapan/ penyumbatan di dalam pipa sipon.

- Untuk kepentingan inspeksi dan pembersihan, ukuran pipa sipon diambil minimum 0,70 m.
- Dasar dan tebing sungai ditempat sipon perlu diperkuat dengan pasangan untuk menjaga bahaya penggerusan setempat dan kelongsoran tebing.
- Pada bagian masuk dan keluar harus dilengkapi dengan pintu.
- Agar sipon dapat berfungsi dengan baik, bangunan ini tidak boleh dimasuki udara. Mulut sipon sebaiknya di bawah permukaan air udik.

Struktur

- Sipon harus stabil, tahan terhadap tekanan aliran sekelilingnya
- Kemiringan pipa pada bagian hilir jangan lebih tegak dari pada 1 : 3.
- Ada bagian masuk harus dipasang saringan dari besi untuk menahan benda padat/ sampah.
- Dibuat sponing untuk balok-balok sekat untuk pemeliharaan, pada bagian masuk.

Talang adalah bangunan persilangan yang dibuat untuk melintaskan saluran dengan sungai, cekungan, jalan, dan lain-lain.

Persyaratan dan Pertimbangan.

- Bangunan talang harus cukup tinggi terhadapmuka air banjir dari sungai yang dilintasi. Ini sehubungan dengan adanya batang-bantang pohon benda padat lain yang hanyut pada waktu banjir.
- Bangunan dapat didukung dengan pilar atau tanpa pilar. Talang dari bahan baja dan kayu dipakai untuk membawa debit kecil.
- Untuk saluran-saluran yang lebih besar dipakai talang beton

- Talang dilengkapi dengan bagian saluran peralihan masuk dan keluar.

Struktur

- Bangunan talang lazim dibuat dari kayu, beton, besi, dan baja
- Tembok pangkalnya diberi tembok sayap
- Bila saluran di udik bangunan talang menerima air banjir/ air kelebihan yang harus dibuang sehingga tidak sampai melewati talang yang akan menimbulkan kerusakan, maka talang harus dilengkapi dengan pelimpah.
- Pondasi tembok pangkal dan tiang-tiang harus cukup dalam, mengingat kemungkinan terjadinya penggerusan setempat.
- Kemiringan tebing sungai di tempat bangunan talang sebaiknya diperkuat dengan tembok pasangan, agar tidak dapat longsor.
- Bila bangunan talang dari pasangan batu atau beton kecepatan air diambil 1,5 – 2 m/dt, dan bila talang dengan struktur besi kecepatan aliran diambil 2,5-3 m/dt.

Forebay adalah suatu bangunan sipil yang merupakan bangunan terakhir sebelum pipa *penstock*. Kolam penenang ini merupakan kolam transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat/ *penstock*, dan sangat penting peranannya dalam pengaturan air untuk MHP.

Fungsi bangunan *Forebay*

Fungsi utama bangunan ini adalah:

- Bak penenang, agar tidak terjadi pergolakan air/ turbulensi
- Bak penampung/ *Storage* dimasa air sedikit berkuang
- Bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (*air saction*)

Bagian bagian bangunan *Forebay*

- Bak penampung

- Bangunan pelimpah
- Besi penyaring /*trash rack*
- Pintu pembilas/*sloplog get*
- Pintu pembuka
- Ventilasi udara/*Air vent*
- Pipa *penstock*

Bendung adalah bangunan air yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai, yang mana bendung bukanlah bendungan atau dam.
Menurut fungsinya, bendung digunakan oleh para petani untuk meninggikan muka air sungai dengan tujuan untuk mendapatkan ketinggian yang cukup untuk dapat mengairi sawah sehubungan dengan ketinggian sawah yang lebih rendah dari muka air sungai sebelumnya, sedangkan fungsi bendung dalam kaitannya dengan pembangkit micro hydro ini adalah untuk mendapatkan ketinggian air yang relative dapat diukur atau ditentukan sekaligus untuk menentukan kebutuhan air yang ada untuk kebutuhan *supplay* pada turbin yang ada di bawahnya sehingga desain ketinggian dapat dihitung melalui data pengukuran.
Dalam beberapa hal banyak kesamaan bendung yang dibuat untuk keperluan persawahan dan bendung yang di desain untuk keperluan pembangkit listrik, dan sebutan keberadaan bendung pada unumnya disamakan dengan istilah *Intake*.

Bangunan bendung pada umumnya dilengkapi dengan :

- Limpasan bendung/ *spillway*
- Pintu pembilas/ *Flasing*
- Bangunan *intake*
- Pintu dan perlengkapannya

Pintu Air ada 4 macam yaitu :

a. Pintu Thomson

Pintu ini adalah pintu pengukur dengan bentuk *triangle* atau segitiga yang terbuat dari bahan pelat atau lainnya untuk dapat mempermudah dalam pembuatan dan pengukuran.

b. Pintu Chipoletti

Pintu Chipoletti ini lebih baik untuk mengukur debit air sungai yang lebih besar daripada pintu Thomson , akan tetapi pintu ini masih mempunyai kehilangan energi yakni adanya perbedaan tinggi air di hulu dan di hilir

c. Pintu Romijn

Pintu romijn ini adalah pintu dengan desain mutahir dimana pintu ini dibuat dengan fungsi untuk mengukur dan mengatur kelebihan pintu ini dapat mengurangi kehilangan energi atau delta h (Δh), dan dapat membilas/ memflasing.

Adapun kelemahan pintu ini biasanya hanya dipakai di dataran rendah dan hanya mengatur debit rendah.

d. Pintu Crump De Gruyter

Pintu ini merupakan pintu pengembangan dari pintu pintu di atas dimana pitu ini dapat memenuhi kebutuhan debit yang lebih besar dari pintu Romijn, disamping mengurangi kehilangan energi yang sangat besar atau (Δh), akan tetapi pintu ini biasanya hanya dipakai di dataran rendah.

Bak pengendap pasir (*sandtrap*) pada dasarnya merupakan saluran dengan potongan melintang yang diperbesar yang mengakibatkan kecepatan aliran menurun. Karena penurunan kecepatan, batu kerikil, pasir dan sedimen akan mengendap dalam bak ini sehingga tidak akan masuk ke dalam saluran pembawa dan yang terpenting tidak akan masuk ke turbin, dimana partikel-partikel ini dapat menyebabkan abrasi pada *runner*.

Pipa pesat (atau pipa tekanan) menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit. Pada kebanyakan kasus biasanya pipa baja

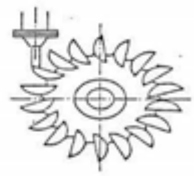
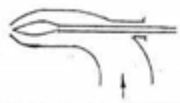
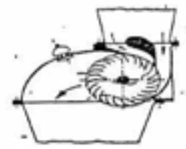
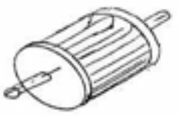
yang digunakan, tetapi juga plastik (PE, PVC, HDPE) atau beton, juga merupakan material yang dapat digunakan. Pipa pesat didukung oleh *slidingblocks* dan angkor; *expansionjoint*.Sambungan memungkinkan jika terjadi pemuaian pipa secara memanjang umumnya akibat pengaruh temperatur .

3.4. Penentuan spesifikasi turbin air skala kecil

Turbin modern dapat dibagi dalam dua klasifikasi utama, yaitu:

A. Turbin Impuls

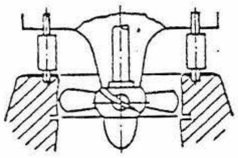
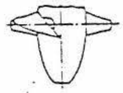
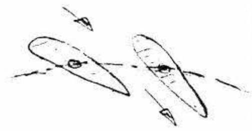
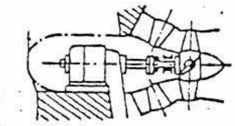
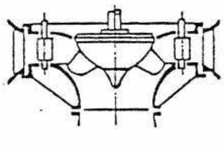
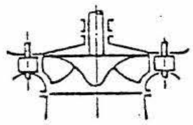
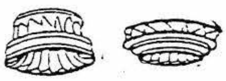
Memanfaat energi kinetik fluida, terutama dipengaruhi tekanan air (beda tinggi). Air yang jatuh bekerja hanya pada beberapa bagian *runner*. Seluruh energi hidrolis diubah menjadi energi kinetik. Tidak terjadi perubahan tekanan pada air sebelum dan sesuah melewati *runner*. *Runner* adalah bagian utama turbin yang mengubah energi hidrolis menjadi energi kinetis (putaran).

impuls turbine			
The acts only on a part of the runner. All hydraulic energy is converted into kinetic energy before entering the runner. The fluid does not change pressure on its way through the runner			
NAME		RUNNER	GUIDE VANE
PELTON TURBINE		numerous double buckets The water jet enters the runner tangentially 	1 to 6 adjustable spear valves 
TURGO IMPULSE		numerous double bended buckets The water jet enters the plane of the runner at an angle of 20° 	1 to adjustable spear valves
CROSS FLOW		cylindical runner with 	one adjustable profiled 

Gambar 2.1. Turbin Impuls

B. Turbin Reaksi

Memanfaatkan energi gravitasi pada fluida, terutama dipengaruhi oleh debit air. Seluruh bagian runner ditenggelamkan / dipenuhi oleh air. Terdapat perbedaan tekanan air, dimana tekanan sebelum melewati runner lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan air setelah melewati runner.

Reaction turbine			
The turbine runner is totally submerged in the water. There is a higher pressure at the runner inlet than at the outlet			
NAME		RUNNER	DISTRIBUTOR
AXIAL FLOW KAPLAN TURBINE		propeller with profiled, adjustable blades 	adjustable or fixed, radial guide vanes 
TUBE TURBINE (S-TURBINE)		like KAPLAN	adjustable or fixed semi axial guide vanes
SEMI AXIAL FLOW DERIAZ TURBINE		semi axial runner with adjustable blades	adjustable, radial guide vane
RADIAL FLOW FRANCIS TURBINE		radial runner 	adjustable, radial guide vane

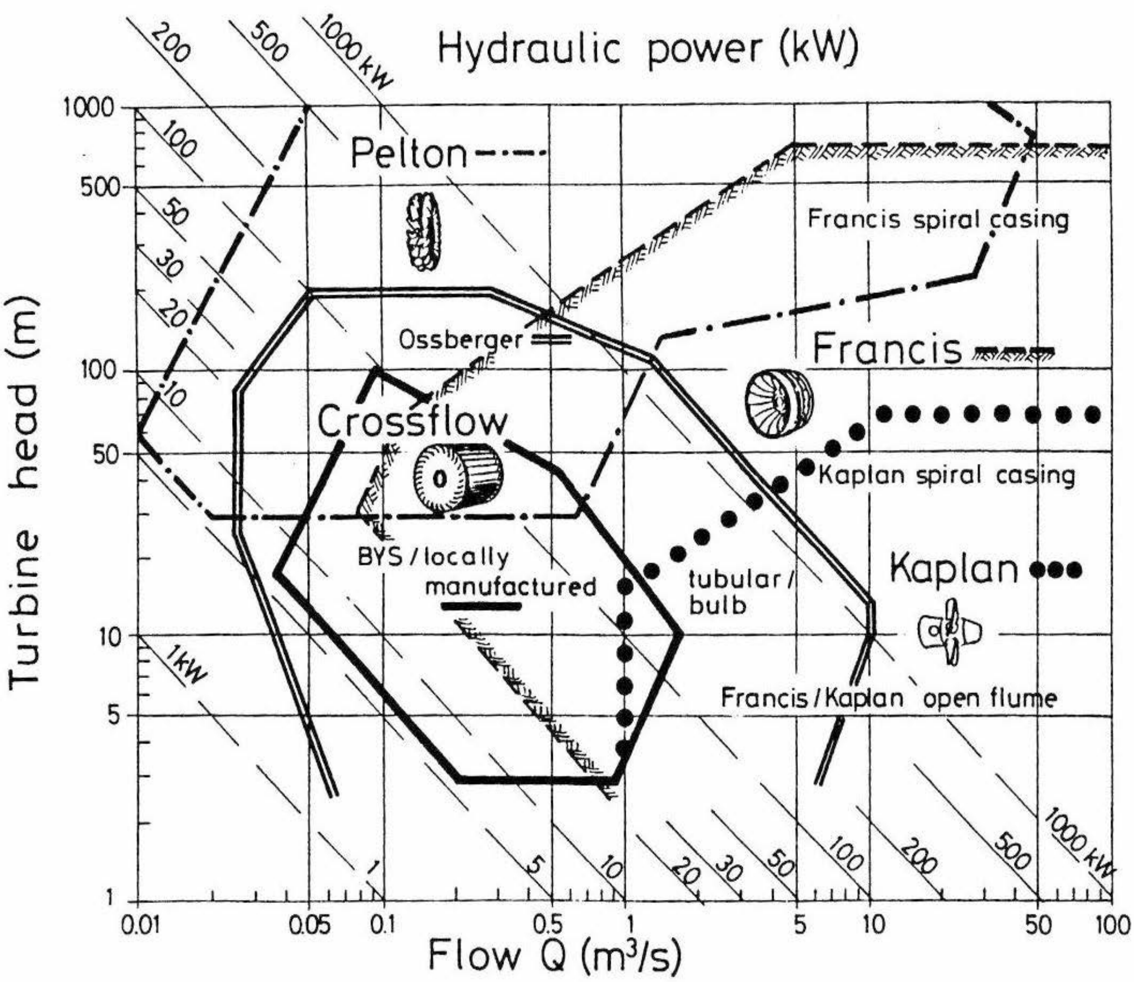
Gambar 2.2. Turbin Reaksi

Batasan dan Penggunaan Turbin

Setiap turbin memiliki aplikasi dengan batas spesifiknya masing-masing. Adalah mungkin, bahwa tipe turbin yang berbeda tersebut layak untuk

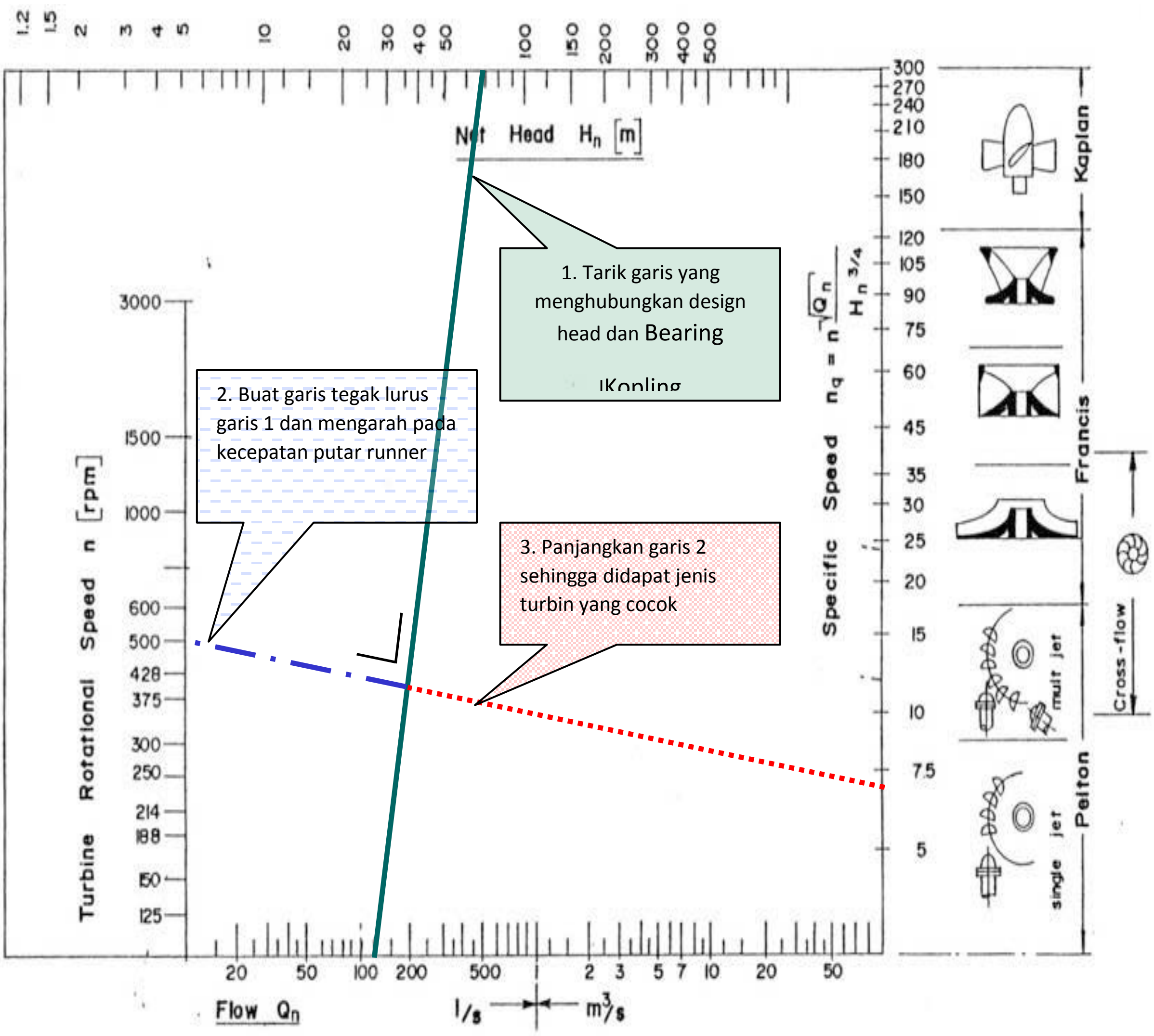
suatu pembangkit. Penawaran dari pabrikan yang berbeda harus dibandingkan dahulu. Dalam banyak kasus, pertimbangan ekonomi cukup menentukan dalam pemilihan turbin. Penentuannya tidak selalu jelas dan mudah dan memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik spesifik turbin.

Terdapat sumber-sumber diagram dan rekomendasi aplikasi yang berbeda untuk memilih tipe turbin yang sesuai. Pabrikan turbin besar dan kecil menyajikan program pabrikasi turbin mereka pada diagram pemilihan.



Gambar 2.3. Aplikasi untuk batasan umum tipe-tipe turbin air yang berbeda (*sumber: MHPG Publication Vol. 11*)

Seperti dilihat pada Gambar 2.3, turbin air jenis pelton hanya cocok dipergunakan untuk kondisi head yang tinggi (turbin impuls). Sedangkan turbin air jenis propeller / kaplan lebih cocok dipergunakan untuk head yang rendah dengan debit yang lebih besar (turbin reaksi). Turbin crossflow berada di area pertengahan, dengan head yang tidak terlalu tinggi dan flow yang juga tidak terlalu besar. Sedangkan turbin Francis dapat mencakup luasan yang sangat besar, dengan catatan tiap turbin didisain untuk satu keperluan yang spesifik.



Gambar 2.4. Contoh untuk penaksiran yang cepat untuk tipe dan kecepatan turbin yang sesuai, dalam fungsi head dan debit

3.5. Penentuan spesifikasi generator

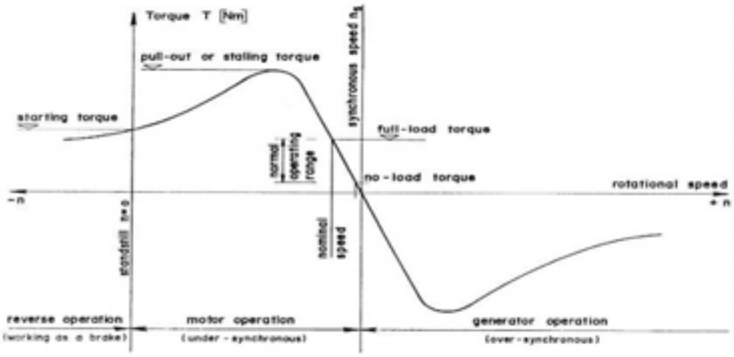
Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi mikro hidro dengan sistem AC ada dua tipe generator yang biasa digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fase maupun 3 fase.

Generator Sinkron

Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, designnya telah mengalami penyempurnaan yang meningkatkan bertujuan untuk meningkatkan performansi, efisiensi dan perwatannya.

Generator Asinkron (induksi)

Generator asinkron (induksi) merupakan mesin induksi (motor) yang digunakan sebagai generator dengan bantuan eksitasi dari luar, baik dengan menggunakan kapasitor (isolated system) maupun terhubung dengan jala-jala PLN. Dari karakteristik kopel kecepatan, mesin induksi dapat dijadikan sebagai generator jika berada pada daerah rem sinkron lebih dan daerah rem arus lawan (n_r>n_s) dimana slip bernilai negative.



Gambar 34 Daerah operasi mesin Induksi

Pemilihan jenis generator dan power output

Tabel berikut dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan spesfikasi teknik nya:

Daya terpasang	s.d 10 kW	10 – 30 kW	>30 kW
Tipe generator dan fasa	Sinkron atau asinkron 1 atau 3 fasa	Sinkron atau asinkron 3 fasa	Sinkron 3 fasa

Perhitungan untuk menentukan ukuran generator dilakukan berdasarkan rumusan berikut :

$$\text{Generator KVA} = \frac{\text{Power Output in kW}}{A \times B \times C \times D} \quad \text{(generator sinkron)}$$

$$\text{Generator KVA} = \frac{\text{Power Output in kW}}{A \times B} \quad \text{(generator Asinkron)}$$

Setelah didapatkan nilai kVA generator, disarankan untuk ditambah safety factor 30% yang bertujuan untuk;

- Memungkinkan jika output turbin lebih besar dari yang direncanakan

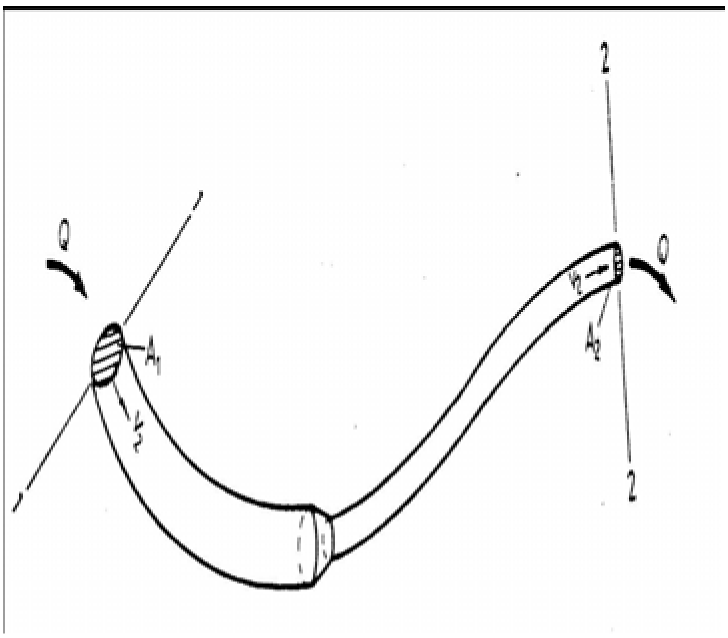
- Jika motor besar (>10% daya generator) disuplai dari pembangkit, maka generator harus mampu menahan arus start.
- Ketika menggunakan ELC generator selalu beroperasi full load.

BAB IV
PERHITUNGAN HIDROLIKA DAN HIDRODINAMIKA

4.1. Dasar-dasar hidrolika

PERSAMAAN KONTINUITAS

Persamaan kontinuitas adalah salah satu persamaan dasar dari mekanika fluida; ini menunjukkan prinsip kekekalan massa. Pertimbangkan sebuah elemen dari suatu jalur pipa (lihat gambar di bawah ini) yang dapat dikatakan bahwa massa per detik yang memasuki pipa harus sama dengan massa per detik yang keluar dari pipa dengan asumsi tidak ada rugi-rugi sepanjang dinding tabung.



Gambar 2.2: **Persamaan kontinuitas**

Dapat dirumuskan:

ρ_w x v_1' x A_1= ρ_w x v_2' x A_2

Dimana vi adalah rata-rata aliran stationer di saluran masuk dan keluar, Ai adalah luas penampang melintang pada saluran masuk dan keluar (tegak lurus dengan garis tengah tabung) dan ri adalah kekentalan zat cair. Untuk kebanyakan aplikasi dalam pembahasan mikrohidro, dapat diasumsikan bahwa air tidak dipadatkan dan kekentalan pada persamaan di atas tetap konstan dari masukan sampai sampai keluaran; sehingga persamaan kontinuitasnya menjadi:

Persamaan 5: $v_1' \times A_1 = v_2' \times A_2 = Q = \text{constant}$

dimana Q adalah kecepatan volumetrik dari aliran atau debit dengan satuan m^3/detik.

Kekekalan Energi: Persamaan Bernoulli

Energi tidak dapat dihasilkan ataupun dimusnahkan tetapi hanya diubah. **Energi potensial** air disimpan di kolam penampungan di atas bukit diubah menjadi **energi kinetik** (dan panas akibat gesekan dan turbulansi) apabila air dilepas melalui saluranmenuruni bukit.

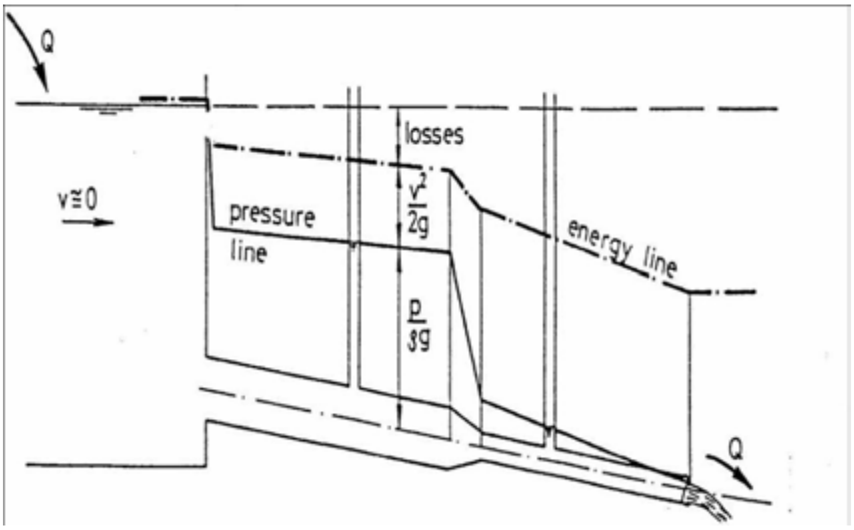
Di bawah bukit, energi kinetiknya maksimum (air telah dipercepatsampai kecepatan maksimum) ketika energi potensialnya nol; total kandungan energi airadalah sama dengan yang berada di atas bukit, di bawah bukit dan pada semua titik diantaranya, apabila gesekan dari kehilangan energinya diabaikan.

Energi potensial + energi kinetik = konstan

Pertimbangkan aliran di dalam saluran tertutup, bentuk ketiga energi dalam aliran fluida harus ditentukan, yaitu energi yang berasal dari daya aksi atau tekanan, karena itu dinamakan **energi tekanan**. Sebagai contoh energi tekanan adalah kerja yang dilakukan pada air oleh gerakan piston yang memindahkan sejumlah air dengan jarak tertentu. Penerapan **dasar-dasar kekekalan energi** ke dalam tiga bentuk energi ini (kinetik,tekanan dan energi potensial) akan mengantar kita ke persamaan Bernoulli. Penerapan persamaan ini hanya untuk sistem dengan aliran stasioner

(steady flow), yaitu dimana kecepatan aliran Q tetap konstan sepanjang waktu. Rugi-rugi tinggi jatuh akibat gesekan pipa dan turbulansi dapat juga dimasukkan ke dalam persamaan.

Ketiga bentuk energi di dalam persamaan Bernoulli dapat diperlihatkan secara grafik dalam potongan memanjang dari sebuah sistem jalur pipa (tenaga air dan suplai air). Ini merupakan metode yang sangat sesuai untuk memeriksa tekanan yang terdapat pada tiap titik dalam sebuah jaringan pipa. Perhatikan bahwa datum (level referensi) dapat dipilih pada sembarang level karena energi bukan merupakan jumlah yang mutlak oleh karena itu dapat diukur pada datum yang dikehendaki.



Gambar 2.3.Energi dan garis tekanan untuk sebuah pipa dari reservoar

Jarak diantara datum ini dan garis tengah pipa menunjukkan energi potensial di setiap titik (lihat gambar di atas). Garis energi untuk air di dalam reservoar adalah permukaan air yang bebas (praktis kecepatannya adalah nol, tekanannya atmosperik yang biasanya diambil sebagai referensi tekanan). Dalam sebuah fluida ideal tanpa rugi-rugi, garis energi akan horizontal sepanjang pipa.

Bagaimanapun, akibat gesekan dan turbulansi garis energi turun secara perlahan (gesekan) atau sekaligus (turbulansi/rugi rugi lokal) dari mulai penampungan sampai keluaran pipa. Garis tekanan digambar pada setiap titik pada jalurpipa dalam suatu jarak velositi head v2/(2g) dibawah garis energi. Jarak antara garis tengah pipa dan garis tekanannya adalah kemudian ukuran untuk menskala untuk daya tekanan yang terkandung dalam air. Apabila pipa berdiri dipasang pada jalurpipa di berbagai titik, level air disetiap titik akan naik sampai ke garis tekanan.

Persamaan 6 $Z_1 + \frac{P_1}{\partial} + \frac{V_1^2}{2_g} = Z_2 + \frac{P_2}{\partial} + \frac{V_2^2}{2_g}$ + H_L

Dimana

$\frac{P_1}{pg}$ = **pressure head**

dengan :

p = tekanan (N/m^2) dan

p= kekentalan fluida (kg/m^3),

z_1 = elevasi or **head potensial** (m)

$\frac{v^2}{2g}$ = **head kinetic atau head velocity**

Dengan,

v = velocity (m/s)

g = percepatan gravitasi 9.81 m/s^2

H_L= rugi daya akibat gesekan dan formasi eddy (eddies expressed). dengan satuan (m) fluid column

Perhatian: dalam setiap bentuk ini setiap istilah dari persamaan memiliki dimensi panjang, oleh karena itu dinamakan “head”.

Aliran Permukaan Bebas

Aliran dalam saluran alami seperti sungai dan di dalam saluran buatan adalah jenisaliran permukaan bebas. Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfir) adalah gaya gravitasi; dengan kata lain air digerakan oleh kemiringan saluran dan tidak seperti di saluran tertutup yaitu dengan perbedaan tekanan head di antara dua bagian (lihat Bab 2 di atas).

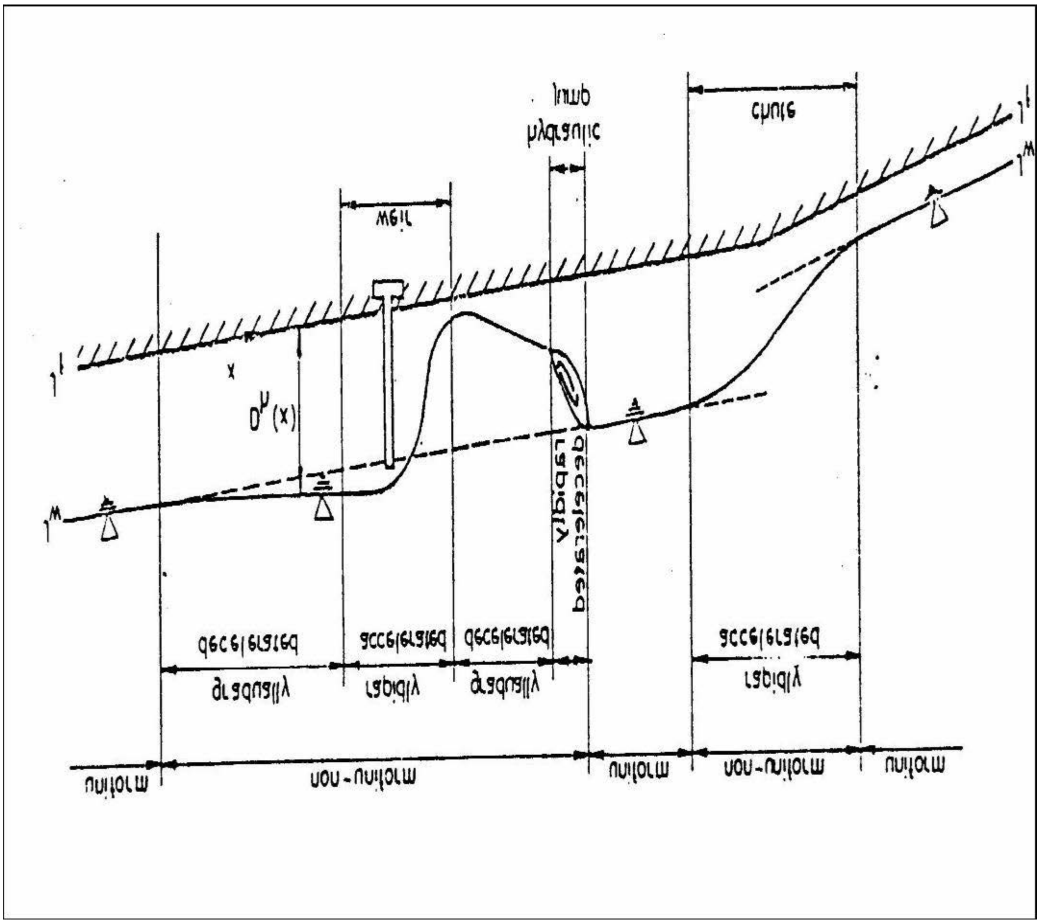
Aliran seragam dan aliran tidak seragam

Bab diatas telah menunjukkan bahwa aliran fluida dalam keadaan mantap apabila kecepatan aliran tidak berubah-ubah terhadap waktu. karena itu, kecepatan dan kedalaman air tidak berubah terhadap waktu pada bagian tertentu.

Ketika melihat perbedaan bagian pada saluran kita mungkin menemukan bahwa kecepatan dan kedalaman air konstan terhadap jarak; aliran seperti ini dinamakan **seragam dan level air paralel dengan dasar saluran** (lihat gambar di bawah). Tipe aliran ini biasanya terjadi pada salauran pembawa (headrace) dengan potongan melintang dan kemiringan dasar saluran yang konstan.

Dalam kejadian yang lain aliran mungkin **berubah berangsur-angsur terhadap jarak**, yaitu menjadi aliran tidak seragam, seperti belokan dari aliran air yang tertahan di hulu

bendungan dari sebuah skema MHP atau permukaan air akan berubah secara cepat ketika terjadi perubahan ukuran saluran atau kemiringan saluran.



Gambar 2.4

Aliran mantap (Q = konstan) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain

Di dalam MHP, kita sebagian besar akan berurusan dengan aliran seragam untuk aliran saluran terbuka. Kedalaman air pada aliran seragam dapat ditentukan dengan rumusan sederhana seperti rumusan Manning-Strickler.

4.2. Dasar hidrodinamika

Ilmu yang mempelajari tentang terjadinya, pergerakan dan distribusi air di bumi, baik di atas, pada maupun di bawah permukaan bumi, tentang sifat physik, kimia air serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya kehidupan.

Secara umum dikatakan bahwa Hidrologi adalah ilmu yang menyangkut masalah Kuantitas dan Kualitas air di bumi.

Analisa Hidrologi

Sebelum memahami tentang analisa Hidrologi, kita pahami terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan Hidrologi pemeliharaan dan Hidrologi Terapan. Hidrologi pemeliharaan adalah sesuatu yang menyangkut masalah pemasangan alat-alat ukur berikut penentuan jaringan stasiun pengamatannya, pengumpulan data hidrologi , pengolahan data mentah dan publikasi data.

Hidrologi terapan adalah ilmu yang langsung berhubungan dengan penggunaan hukum-hukum yang berlaku menurut ilmu-ilmu murni pada kejadian praktis dalam kehidupan.

Analisa hidrologi adalah suatu kegiatan analisa yang berhubungan dengan air yang bertujuan antara lain untuk perencanaan suatu bangunan air, misalnya perencanaan reservoir untuk mengendalikan banjir dan mengatasi kebutuhan air.

Beberapa step analisa hidrologi antara lain :

- Memperkirakan jumlah air permukaan yang tersedia
- Memperkirakan kehilangan air (akibat penguapan, rembesan dsbnya)
- Memperkirakan kebutuhan air (domestik, pertanian, perindustrian)
- Memperkirakan banjir rencana
- Memperkirakan kapasitas/ volume reservoir dan tinggi M.A (Muka Air) maksimum dalam reservoir.
- Setelah itu baru dilanjutkan dengan perencanaan bangunan air yaitu :
    - Merencanakan bangunan pengendalian banjir
    - Merencanakan bangunan drainase pada daerah perkotaan atau daerah aliran
    - Merencanakan /menentukan bentuk, ukuran konstruksi dll.

Latihan Soal :

1. Jelaskan dengan singkat difinisi Hidrologi?
2. Jelaskan dengan singkat tentang Hidrologi Terapan?

Kunci Jawaban :

1. Hidrologi adalah ilmu yang menyangkut masalah Kuantitas dan Kualitas air di bumi.
2. Hidrologi terapan adalah ilmu yang langsung berhubungan dengan penggunaan hukum-hukum yang berlaku menurut ilmu-ilmu murni pada kejadian praktis dalam kehidupan

Siklus Hidrologi

Akibat panas yang bersumber dari matahari, maka terjadilah : Evaporasi dan Transpirasi. **Evaporasi** adalah penguapan pada permukaan air terbuka pada permukaan tanah. **Transpirasi** adalah penguapan dari permukaan tanaman.

Uap air hasil penguapan ini pada ketinggian tertentu akan menjadi awan, kemudian karena beberapa sebab awan akan berkondensasi menjadi **presipitasi** (yang diendapkan/ yang jatuh), bisa dalam bentuk salju, hujan es, hujan, embun.

Sedangkan air hujan yang jatuh kadang – kadang tertahan oleh tajuk (ujung – ujung daun), oleh daunnya sendiri atau oleh bangunan dsbnya disebut **Intersepsi**. Besarnya intersepsi pada tanaman tergantung dari jenis tanaman, tingkat pertumbuhan, tetapi biasanya berkisar 1 mm pada hujan – hujan pertama, kemudian sekitar 20% pada hujan – hujan berkutnya.

Air hujan yang mencapai tanah, sebagian menembus permukaan tanah (**berinfiltrasi**), sebagian lagi menjadi aliran air di atas permukaan (over land flow), kemudian terkumpul pada saluran yang disebut **surface run off**.

Dari hasil infiltrasi di atas sebagian mengalir menjadi aliran bawah permukaan (**interflow/ sub surface flow/ through flow**), sebagian lagi akan membasahi tanah.

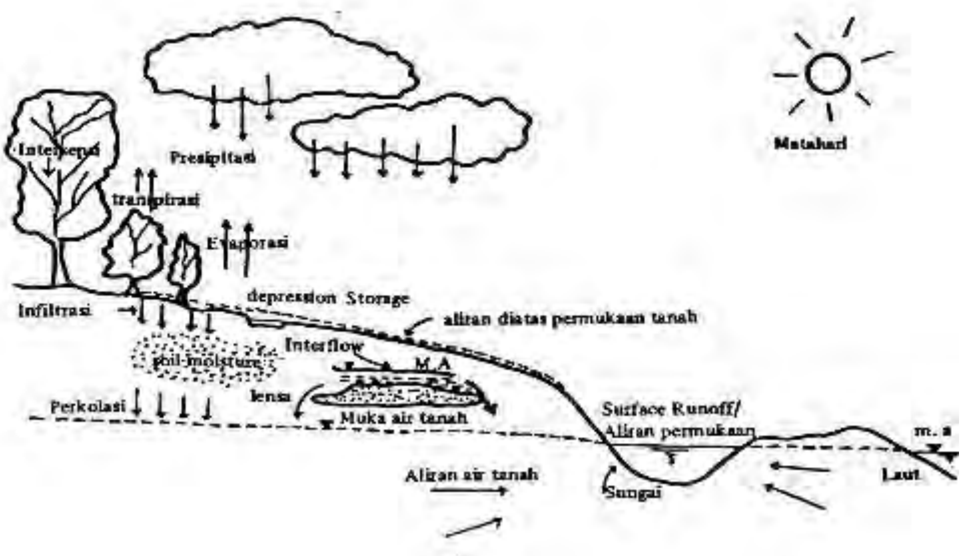
Air yang menjadi bagian dari tanah dan berada dalam pori – pori tanah tersebut disebut air Soil. Apabila kapasitas kebasahan tanah (Soil Moisture) ini terlampaui, maka kelebihan airnya akan mengalir vertikal (berperkolasi) mencapai air tanah.

Aliran air tanah (**ground water flow**) akan terjadi sesuai dengan hukum-hukum fisika.

Air yang mengalir itu pada suatu situasi dan kondisi tertentu akan mencapai danau, sungai, laut, dan menjadi simpanan air yang disebabkan oleh kubangan/ cekungan yang biasa disebut **depression storage**, serta saluran dsbnya, mencari tempat yang lebih rendah.

Untuk itu secara garis besar pada sistem sirkulasi tersebut dapat dikategorikan menjadi 2 variabel, yaitu ada yang berperan sebagai variabel input dan ada yang berperan sebagai variabel output.

Lihat Gambar 1 berikut :



Gambar 3.1

Siklus Hidrologi

Karena kompleksnya sistem sirkulasi air serta luasnya ruang lingkup kehidupan, maka untuk melakukan analisa hidrologi diperlukan pula ilmu – ilmu pengetahuan lainnya, antara lain :

- **Meteorologi,** Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari fenomena fisik dari atfosfir. Adapun yang termasuk dalam meteorologi yaitu: tekanan gas, kelembaban absolut, kelembaban relativ, kelembaban nisbi, kejenuhan titik pengembunan, titik beku dan temperatur.
- **Klimatologi,** yaitu ilmu yang membahas segala sesuatu yang berhubungan dengan cuaca, termasuk interpretasi statistik, catatan – catatan cuaca jangka panjang untuk mendapatkan harga rata – rata, trend terhadap waktu, gambaran lokal dari cuaca dengan perhitungan – perhitungan radiasi matahari, derajat hari, angin, hujan, temperatur rata – rata bulanan, temperatur rata – rata harian, temperatur maksimum, temperatur minimum dan penguapan.
- Geografi, yaitu ilmu yang membahas tentang ciri – ciri fisik permukaan bumi.
- Agronomi, yaitu ilmu yang membahas tentang dunia tumbuh – tumbuhan, yang pengaruhnya besar terhadap distribusi air hasil prespiasi setelah mencapai tanah dan penguapannya.
- Geologi, yaitu ilmu yang mempelajari komposisi kerak bumi yang berperanan pada distribusi air permukaan, air bawah permukaan dan air tanah dalam.
- Hidrolika, yaitu ilmu (hukum) yang mempelajari tentang gerakan air beraturan dalam sistem sederhana.
- Satistik, yaitu ilmu yang mempelajari tentang teknik memproses data numerik menjadi informasi yang berguna dalam penelitian ilmiah, pengambilan keputusan dsbnya. Statistik diperlukan dalam menganalisa data – data hidrologi.

4.3. Prinsip-prinsip aliran air

Sifat fisik dasar cairan adalah kerapatan dan viskositas. Perbedaan dalam sifat-sifat ini dapat mempengaruhi kemampuan cairan untuk mengikis dan transportasi sedimen. Pergerakan pada material terjadi disebabkan oleh gravitasi, tapi yang lebih umum adalah karena hasil

dari aliran air, udara, es atau campuran padat (dense mixtures) sedimen dan air.

Interaksi material sedimen dengan media transportasi menghasilkan struktur sedimen, beberapa struktur sedimen berkaitan dengan pembentukan bentuk lapisan (bedform) dalam aliran sedangkan yang lain adalah erosi. Struktur sedimen ini terawetkan dalam batuan dan menyediakan rekaman proses yang terjadi pada waktu pengendapannya. Jika proses fisik terjadinya struktur ini di dalam lingkungan modern dapat diketahui, dan jika batuan sedimen diinterpretasikan berdasarkan kesamaan prosesnya, maka mungkin untuk mengetahui lingkungan pengendapannya.

Perubahan bentuk butir yang disebabkan oleh aliran fuilda terhadap bentuk dan ukuran butir (grain) :



sebelum dan sesudah

Dua sifat yang sangat mempengaruhi sifat alir serta cara setiap medium berinteraksi dengan partikel-partikel sedimen yang diangkutnya adalah densitas dan viskositas.

Densitas fluida (rf) menentukan besaran gaya, misalnya stress, yang akan bekerja di dalam fluida itu serta terhadap bidang batas fluida-sedimen yang terletak dibawahnya, terutama ketika fluida bergerak menuju bagian bawah lereng di bawah pengaruh gaya gravitasi. Densitas juga menentukan cara gelombang merambat melalui fluida serta mengontrol gaya apung (boyant force) yang bekerja terhadap partikel-partikel sedimen yang ada didalamnya serta menentukan densitas efektifnya (rs – rf), dimana rs adalah densitas partikel padat. Sebagai contoh, suatu butiran kuarsa dalam air memiliki densitas efektif 1,65 g/cm3, sedangkan densitasnya di udara adalah 2,65 g/cm3. Perbedaan densitas efektif sangat mempengaruhi kemampuan suatu fluida untuk mengangkut partikel.

Viskositas (m) menyatakan kemampuan fluida untuk mengalir. Viskositas dinyatakan sebagai nisbah shear stress (t, shearing force/satuan luas) terhadap laju deformasi (du/dy) yang ditimbulkan oleh geseran itu :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy}$$

Untuk dapat menghasilkan laju deformasi yang sama, fluida yang memiliki viskositas relatif tinggi akan memerlukan shear stress yang lebih besar dibanding fluida yang memiliki viskositas relatif rendah.

Karena densitas dan viskositas sama-sama memegang peranan penting dalam menentukan tingkah laku fluida, maka keduanya sering dipersatukan melalui suatu aspek tunggal yang disebut viskositas kinematik (n) :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

4.4. Pengaliran air dalam pipa

Aliran Air Dalam Pipa

a. Aliran mantap dan aliran tidak mantap

Untuk aliran mantap, parameter aliran seperti kecepatan, tekanan dan kekentalan untuk setiap titik adalah independen terhadap waktu sedangkan yang tergantung oleh waktu adalah aliran tidak tetap.

Contoh untuk aliran mantap: aliran melalui pipa berdiameter konstan atau diameter berubah-ubah pada tekanan konstan (misalnya; reservoir yang tinggi airnya tidak berubah, yaitu air yang keluar secara terus menerus terisi kembali).

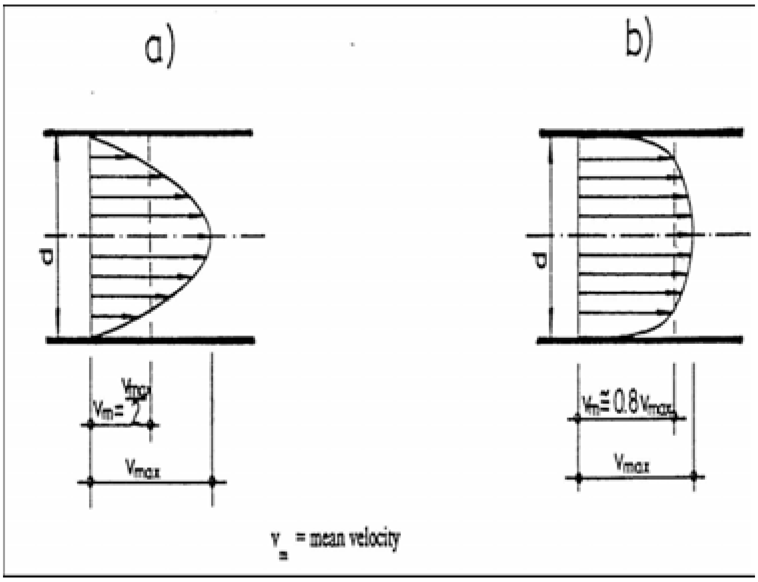
Contoh untuk aliran tidak mantap: aliran melalui pipa pada tekanan berubah-ubah akibat pergantian tinggi air yang dihubungkan dengan tangki atas.

b. Rugi-rugi head akibat gesekan

Pada aliran air sebenarnya, energi atau rugi-rugi head yang terjadi akibat resistansi dinding pipa, gangguan terhadap aliran ini akan mengakibatkan transformasi yang takterbalikan dari energi dalam aliran menjadi panas.

Kehilangan energi akibat gesekan berasal dari tegangan geser antara lapisan yang bersebelahan antara air yang meluncur satu sama lain pada kecepatan yang berbeda.. Lapisan air yang paling tipis melekat pada dinding pipa dengan pasti tidak bergerak sedangkan kecepatan setiap lapisan konsentrik meningkat untuk mencapai kecepatan maksimum di garis tengah pipa.

Apabila partikel fluida bergerak sepanjang lapisan-lapisan halus pada jalur yang telah ditentukan, alirannya disebut dengan laminar atau viscous dan tegangan geser antara lapisan-lapisan mendominasi. Pada keadaan teknisnya, bagaimanapun, aliran di dalam pipa biasanya turbulen, yaitu partikel bergerak pada jalur yang tidak teratur dan merubah kecepatan.



Gambar 2.4

Distribusi kecepatan dalam aliran pipa a) laminar and b) aliran turbulen

Untuk mengkarakteristikan tipe aliran di dalam sistem pemipaan tertentu, bilangan Reynolds (Re) digunakan (catatan Re adalah rasio antara gaya inersia dan gesekan akibat kecepatan fluida n):

Persamaan 7: $\text{Re} = \frac{v \times d}{v}$

dimana :

v = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

d = diameter dalam pipa (m)

v = kecepatan kinematik dalam m^2/detik

untuk air pada saat 10° C: n = 1.31 * 10-6 m^2/detik

untuk air pada saat 20° C: n = 1.0 * 10-6 m^2/detik

Apabila Re < 2000, maka disebut aliran laminar dan Re = 2500 sampai 4000, disebut aliran turbulen, batasan di antaranya dinamakan zona kritis tak terdefinisi dimana kedua bentuk aliran tersebut ada dengan bilangan Reynold yang sama.

Contoh aliran laminar adalah aliran bawah tanah yang melalui acquifer; dalam teknologi MHP air yang mengalir melalui saluran dan pipa hampir selalu turbulen.

Untuk perhitungan **Rugi gesekan untuk aliran turbulen**, rumus berikut (Darcy- Weisbach) diterapkan :

Persamaan 8 : $H_{friction}$

$$H_{friction} = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

(rugi-rugi head akibat gesekan dalam meter fluid column)

Dimana :

- λ = faktor gesekan menurut diagram Moody (lihat dibawah)
- L = panjang penampang pipa dengan diameter konstan dalam meter
- d = diameter pipa dalam meter
- v = kecepatan rata-rata dalam m/s

Percobaan telah dilakukan untuk menentukan l, faktor gesekan, untuk pipa komersial; hal ini telah membawa menuju sebuah rumus empirik dan cukup komplek yang kemudian disebut **Colebrook and White**. Moody (Amerika Serikat) merupakan orang pertama yang menciptakan diagram untuk keperluan praktek dimana angka l (dihitung dengan rumusan Colebrook) digambarkan sebagai sebuah fungsi bilangan Reynold (lihat literatur yang relevan).

Terlepas dari bilangan Reynold, faktor gesekan juga tergantung pada kekasaran absolute dari pipa; nilainya untuk material pipa dan kondisi yang berbeda-beda biasanya disediakan oleh pabrik dan dapat ditemukan dalam literatur yang relevan.

Perhatikan bahwa apabila pabrik pipa komersial menyediakan tabel dan diagramdiagram untuk menentukan kerugian head akibat gesekan, informasi seperti ini biasanya agak menyimpang dimana sejauh mungkin mereka menyediakan nilai terbaik untukkoefisen kekasaran. Misalnya, untuk yang baru, pipa buatan pabrik digunakan, dalam kenyataannya, pipa tidak tetap halus ketika dalam operasional. Pipa logam rentan akan korosi sedangkan pipa plastik (PE, PVC) akan tertutup lumpur setelah beberapa tahun beroperasi. Pada kenyataannya, semua tipe pipa akan memiliki nilai kekasaran yang lebih tinggi setelah beberapa tahun beroperasi. Kerusakan ini harus diperhatikan ketika memilih pipa saluran pembawa atau pipa pesat dan oleh karena itu dianjurkan untuk menggunakan rumusan Darcy-Weisbach yang digabungkan dengan diagram Moody dibandingkan menggunakan tabel dan diagram-diagram dari pabrik.

4.5. Pengaliran air dalam permukaan bebas

Aliran dalam saluran alami seperti sungai dan di dalam saluran buatan adalah jenisaliran permukaan bebas. Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfir) adalah gaya gravitasi; dengan kata lain air digerakan oleh kemiringan saluran dan tidak seperti di saluran tertutup yaitu dengan perbedaan tekanan head di antara dua bagian.

Aliran seragam dan aliran tidak seragam

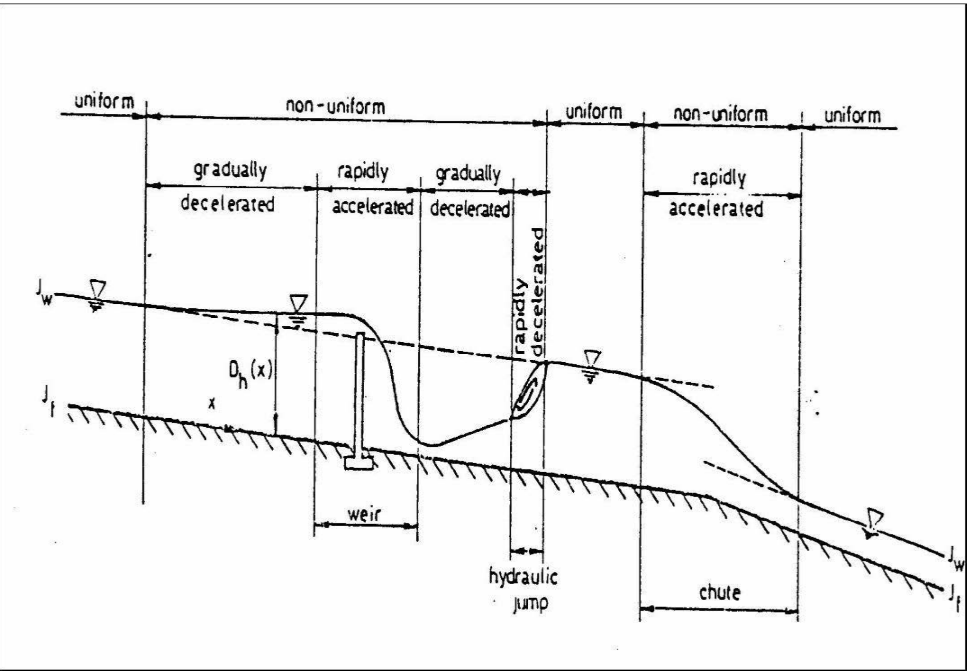
Bab diatas telah menunjukkan bahwa aliran fluida dalam keadaan mantap apabila kecepatan aliran tidak berubah-ubah terhadap waktu.

karena itu, kecepatan dan kedalaman air tidak berubah terhadap waktu pada bagian tertentu.

Ketika melihat perbedaan bagian pada saluran kita mungkin menemukan bahwa kecepatan dan kedalaman air konstan terhadap jarak; aliran seperti ini dinamakan **seragam dan level air paralel dengan dasar saluran** (lihat gambar di bawah). Tipe aliran ini biasanya terjadi pada salauran pembawa (headrace) dengan potongan melintang dan kemiringan dasar saluran yang konstan.

Dalam kejadian yang lain aliran mungkin **berubah berangsur-angsur terhadap jarak**, yaitu menjadi aliran tidak seragam, seperti belokan dari aliran air yang tertahan di hulu

bendungan dari sebuah skema MHP atau permukaan air akan berubah secara cepat ketika terjadi perubahan ukuran saluran atau kemiringan saluran.



Gambar 2.4

Aliran mantap (Q = konstan) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain

Di dalam MHP, kita sebagian besar akan berurusan dengan aliran seragam untuk aliran saluran terbuka. Kedalaman air pada aliran seragam dapat ditentukan dengan rumusan sederhana seperti rumusan Manning-Strickler.

Rumus-rumus yang digunakan adalah

1. $v_1' \times A_1 = v_2' \times A_2 = Q$
2. $Z_1 + \frac{P_1}{\partial} + \frac{V_1^2}{2_g} = Z_2 + \frac{P_2}{\partial} + \frac{V_2^2}{2_g} + H_L$
3. $Re = \frac{v \times d}{v}$

4.6. Energi

Energi air terjun

Potensi tenaga air dan pemanfaatanya pada umumnya sangat berbeda bila dibandingkan dengan penggunaan tenaga lain. Sumber tenaga air secara teratur dibangkitkan kembali karena adanya pemanasan sinar matahari. Sehingga sumber tenaga air merupakan sumber yang dapat diperbaharui.potensi secara keseluruhan tenaga air relatif kecil bila dibandingkan dengan jumlah sumber bahan bakar fosil. Penggunaan tenaga air merupakan pemanfaatan multiguna, karena dikaitkan dengan irigasi, pengendalian banjir, perikanan darat, dan pariwisata.

Pembangkit listrik tenaga air dilakukan tanpa ada perubahan suhu, karena tidak ada proses pembakaran bahan bakar. Sehingga mesin hidro yang dipakai bisa lebih tahan lama dibanding dengan mesin bahan bakar

Pada dasarnya ada tiga faktor utama dalam penentuan pemakaian suatu potensi sumber tenaga air untuk pembangkit tenaga listrik, yaitu;

a. Debit andalan

b. H efektif

Perlu kita ketahui bahwa potensi energi air terjun adalah memanfaatkan energi karena ketinggian atau potensial yang selanjutnya dikonversi menjadi energi kinetik untuk menggerakan sirip dan memutar turbin selanjutnya menjadi energi listrik. Sehingga dengan persamaan energi potensial, kita bisa mencari besarnya energi yang dikandung pada air terjun adalah sebagai berikut;

E = m.g.h

dengan ;

E = energi potensial

M = masa

g = percepatan gravitasi

h = tinggi relatif pada permukaan bumi

Bila persamaan diatas kita diferensialkan akan menjadi;

dE = dm.g.h

dE merupakan energi yang dibangkitkan oleh elemen massa dm yang melalui jarak h.

Bila Q di definisikan sebagai debit air, menurut rumus;

Q =

Dengan;

Q = debit air

dm = elemen masa air

dt = elemen waktu

Kita ingat bahwa daya merupakan energi per satuan waktu, sehingga rumus daya dapat kita tuliskan sebagai berikut;

P =   = .h.g

P = Q .g.h

diantara data primer yang diperlukan untuk suatu survei dapat disebut:

- Jumlah energi yang secara teoritis dapat diperoleh setahun, dalam kondisi-kondisi tertentu di musim hujan dan musim kering.

- Ø Jumlah daya pusat listrik yang akan dipasang, dengan memperhatikan apakah pusat listrik itu akan dipakai untuk beban dasar atau beban puncak.

BAB V
MODEL PERALATAN KONTROL HIDROLIKA

5.1. Macam-macam Energi

a. Energi Kimia

Zat-zat kimia yang terkandung di dalammakanan dan minuman dapat menghasilkan energikimia karena di dalam tubuhmu sebenarnya terjadi reaksikimia yang mengubah zat-zat yang terkandung dalammakanan menjadi energi. Gas, bensin, solar, batu bara, danminyak tanah juga merupakan sumber energi kimia. Jikacontoh-contoh sumber energi tersebut direaksikan, dapatmenghasilkan energi.

b. Energi Listrik

Saat kamu menonton televisi atau mendengarkan radio,darimana televisi dan radio memperoleh energi? Televisi danradio serta alat-alat elektronika lainnya memperoleh energidari energi listrik. Pada televisi, energi listrik ini diubahmenjadi energi cahaya dan energi bunyi, sedangkan padaradio diubah menjadi energi bunyi.

c. Energi Panas

Energi panas sering disebut juga energi kalor, merupakansalah satu bentuk energi yang berasal dari partikel-partikelpenyusun suatu benda. Mengapa partikel-partikel suatubenda dapat menghasilkan energi panas? Kamu telahmengetahui bahwa setiap benda tersusun oleh partikelpartikel.Jika ada sesuatu yang dapat membuat partikelpartikelini bergerak, benda tersebut akan menghasilkanenergi panas. Kamu mungkin pernah mendengar bahwaorang dapat membuat api dari kayu kering yang digosokgosokkan.Kayu-kayu kering yang saling digosokkan akanmenimbulkan panas yang dapat membakar bahan-bahanyang mudah terbakar.

d. Energi Bunyi

Untuk mengamati energi bunyi, lakukan kegiatan sederhanaberikut. Peganglah sebuah mistar, kemudian getarkan mistartersebut. Kamu akan mendengar bunyi yang dihasilkan darigetaran mistar tersebut. Dapatkah kamu menjelaskannya?Ketika penggaris kamu getarkan, partikel-partikel udara disekitar mistar akan ikut bergetar, partikel-partikel inilah yangmenimbulkan bunyi. Dengan demikian, bunyi dapatdihasilkan oleh getaran partikel udara di sekitar sumberbunyi.

e. Energi Nuklir

Pernahkah kamu mendengar energi nuklir? Reaksi nuklirterjadi karena reaksi inti di dalam inti radioaktif. Contohenergi nuklir terjadi pada ledakan bom atom dan reaksi intiyang terjadi di Matahari. Energi nuklir dapat digunakansebagai energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Di Matahari, terjadi reaksi inti fusi yang menghasilkanenergi nuklir yang sangat besar sehingga energi inimerupakan sumber energi utama di bumi.

5.2. Konversi Energi

a. Pengertian Energi.

Energi merupakan sesuatu pengertian yang tidak mudah didefinisikan dengan singkat dan tepat. Energi yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan, tetapi dapat dirasakan adanya. Energi atau yang sering disebut tenaga, adalah suatu pengertian yang sering sekali digunakan orang. Kita sering mendengar istilah krisis energi yang bermakna untuk menunjukkan krisis bahan bakar (terutama minyak). Bahan bakar adalah sesuatu yang menyimpan energi, jika dibakar akan diperoleh energi panas yang berguna untuk alat pemanas atau untuk menggerakkan mesin. Energi dalam kehidupan sehari-hari arti gerak, misal seorang anak banyak bergerak dan berlari-lari dikatakan penuh dengan energi. Energi juga dihubungkan dengan kerja. Seseorang yang mampu bekerja keras dikatakan mempunyai energi atau tenaga besar. Jadi boleh dikatakan

energi adalah sesuatu kekuatan yang dapat menghasilkan gerak, tenaga, dan kerja.

b. Pengertian **Konversi Energi**

Energi dalam pengetahuan teknologi dan fisika dapat diartikan sebagai kemampuan melakukan kerja. Energi di dalam alam adalah suatu besaran yang kekal (hukum termodinamika pertama). Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dikonversikan/berubah dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain, misalnya pada kompor di dapur, energi yang tersimpan dalam minyak tanah diubah menjadi api. Selanjutnya jika api digunakan untuk memanaskan air dalam panci, energi berubah bentuk lagi menjadi gerak molekul-molekul air. Perubahan bentuk energi ini disebut konversi. Sedangkan perpindahan energi disebabkan adanya perbedaan temperatur yang disebut kalor. Energi juga dapat dipindahkan dari suatu sistem ke sistem yang lain melalui gaya yang mengakibatkan pergeseran posisi benda. Transfer energi ini adalah kemampuan suatu sistem untuk menghasilkan suatu kerja yang pengaruh/berguna bagi kebutuhan manusia secara positif. Jadi energi adalah suatu kuantitas yang kekal, dapat berubah bentuk, dan dapat pindah dari satu sistem ke sistem yang lain, akan tetapi jumlah keseluruhannya adalah tetap.

Sistem konversi energi dalam suatu sistem energi dalam suatu sistem tertentu dapat dirubah menjadi usaha, artinya kalau energi itu dimasukkan ke dalam sistem dan dapat mengembang untuk menghasilkan usaha. Sebagai contoh sistem konversi energi, apabila bahan bakar bensin (premium) yang dimasukkan ke dalam silinder mesin konversi energi jenis motor pembakaran dalam, misalnya sepeda motor. Energi (C8H18/iso-oktan atau nilai kalor) yang tersimpan sebagai ikatan atom dalam molekul bensin/premium dilepas pada waktu terjadi pembakaran dalam silinder,

hasil pembakaran ini ditransfer menjadi energi panas/kalor. Energi panas yang dihasilkan ini akan mendorong torak/piston yang ada dalam silinder, akibatnya torak/piston akan bergerak. Bergeraknya torak/piston terjadi transformasi energi, yaitu dari energi panas menjadi energi kinetik. Selanjutnya energi kinetik ditransfer menjadi energi mekanik yang menghasilkan usaha (kerja). Kerja yang merupakan hasil kemampuan dari sistem yang berguna bagi kepentingan manusia, yaitu dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain yang jauh jaraknya.

5.3. Komponen (Alat) untuk konversi energi pada PLTMH

Komponen untuk konversi energi pada PLTMH:

c. Turbin, merupakan peralatan mekanik yang mengubah tenaga air menjadi mekanik (tenaga putar/ gerak). Ada beberapa jenis turbin yang digunakan di dalam PLTMH sesuai dengan debit dan tinggi jatuh air, yaitu turbin pelton, turbin cross flow, turbin propeler turbin open plum dan pump as turbin (PAT)
d. Alternator atau generator merupakan peralatan mekanik yang berfungsi mengubah tenaga gerak putar menjadi listrik. Alternator digerakan oleh turbin dengan bantuan sabuk pemutar. Untuk menjaga kestabilan putaran alternator, di antara turbin dan alternator sering dipasang roda gila (fly wheel).

5.4. Debit air maksimum dan minimum

Survei harus direncanakan dengan sangat matang sehingga dapat diperoleh hasil yang memuaskan. Pemilihan waktu survei yang tepat adalah sangat penting mengingat di daerah kita terdapat dua musim yang sangat mempengaruhi perilaku aliran sungai, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Pelaksanaan survei untuk satu lokasi tertentu sebaiknya dilakukan minimal sebanyak 2 (dua) kali, yaitu saat puncak musim

penghujan dan puncak musim kemarau sehingga laju aliran (debit) sungai maksimum dan minimum dapat diukur.

5.5. Debit air rata-rata pertahun

Debit air rata-rata sungai dihitung berdasarkan data curah hujan yang diukur selama satu tahun. Sebagai contoh debit air rata-rata sungai Dompyong yang mengacu pada data curah hujan dan debit rata-rata kabupaten Trenggalek tahun 2009 menurut balai PSAWS Malang ditunjukkan pada tabel 4.

TABEL 4

DATA CURAH HUJAN TAHUN 2009 DAN DEBIT AIR RATA-RATA

Bulan	Curah Hujan	Catchment Area	Debit Air	Debit RataRata
	mm	km^2	m^3/s	m^3/s
Januari	78	20	0.24	0.43
Februari	137	36	0.76	
Maret	75	19	0.22	
April	156	36	0.87	
Mei	199	39	1.2	
Juni	65	15	0.15	
Juli	55	10	0.08	
Agustus	4	2	0.001	
September	24	8	0.03	
Oktober	93	25	0.36	
November	93	26	0.37	
Desember	157	37	0.9	

Pengukuran debit sungai Dompyong dilakukan pada tanggal 24 Maret 2011 dalam kondisi cuaca cerah. Lebar sungai Dompyong pada daerah

pengukuran adalah 7m yang dibagi dalam 7 segmen dengan jarak antar penampang 1m. Diperoleh penampang melintang Sungai Dompyong seperti pada gambar 4 dan hasil pengukuran debit pada tabel 5.



Gambar 4. Penampang melintang sungai Dompyong hasil pengukuran

TABEL 5

DEBIT AIR PER PENAMPANG

Titik	Luas Penampang	Kecepatan Rata-Rata Aliran	Debit Air
	m^2	m/s	m^3/s
0	0	0	0
1	0.25	0.32	0.08
2	0.27	0.35	0.09
3	0.31	0.41	0.13
4	0.35	0.44	0.15
5	0.22	0.43	0.09
6	0.24	0.32	0.08
7	0	0	0
Debit Total			**0.63**

Sungai Dompyong merupakan sungai dangkal dengan aliran bebas sehingga faktor koreksi debit air sebesar 0.65 sehingga diperoleh debit air sungai Dompyong sebesar:

$$\begin{aligned} Q &= cQ_{total} \\ &= 0.65\ x\ 0.63 \\ &= 0.41\ m^3/s \end{aligned}$$

5.6. Besaran debit, ketinggian jatuh air (head) dan energi potensial air

Tinggi Jatuh dan Debit Air

Terdapat beberapa faktor-faktor penting yang harus dipikirkan ketika akan membangun sistem mikrohidro. Faktor pertama adalah jumlah aliran air yang tersedia; periode dimana hanya ada sedikit hujan atau tak ada sama sekali hujan maka dapat berdampak besar pada pengoperasian pembangkit. Faktor kedua adalah yang dikenal sebagai tinggi jatuh (head), ini merupakan jumlah jatuhnya air yang ada diantara saluran pemasukan (intake) dan sistem keluaran sistem. Makin besar tinggi jatuhnya, makin besar juga daya yang dapat dibangkitkan.

Tinggi Jatuh (Head)

Walaupun kita dapat menggunakan pipa yang halus untuk membawa air menuruni bukit menuju turbin, sebagian energi akan hilang akibat gesekan dan gangguan yang lainnya (katup, belokan,dll). Sepanjang saluran pembawa air juga akan terjadi kerugian akibat gesekan dan turbulensi.Kehilangan energi ini biasanya dicatat untuk perhitungan output daya dengan cara mengurangi tinggi jatuh total yang ada di lapangan. Ketentuan yang berlaku sebagai berikut:

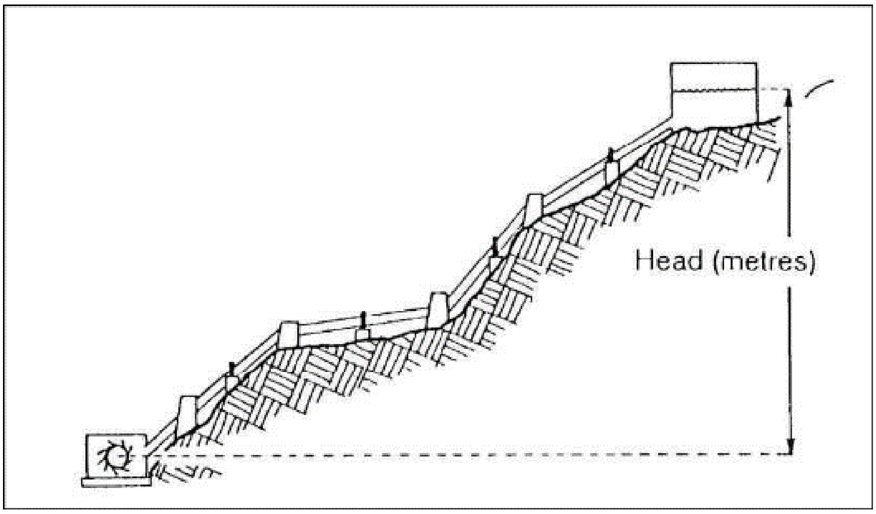
Tinggi jatuh kotor atau tinggi jatuh statis:

Hg (m) didefinisikan sebagai perbedaan ketinggian air di saluran pembawa atas dan ketinggian air di saluran pembuangan (tailrace). Ini

merupakan tinggi jatuh teoritis yang akan tersedia apabila tidak **terjadi loses.**

Tinggi jatuh bersih atau efektif:

Hn (m) dihasilkan dari perbedaan antara tinggi jatuh kotor dan kerugian tinggi jatuh (head losses) . Ini merupakan tinggi jatuh sebenarnya yang tersedia untuk membangkitan daya. Kehilangan tinggi jatuh untuk skema PLTMH biasanya sekitar 10% dari tinggi jatuh kotor.



Gambar.Head dalam perhitungan sistem tenaga air

Debit

Aliran atau debit: Q (m3/detik) merupakan bagian penting lain dalam menentukan output daya dari sebuah skema MHP. Besarnya debit dalam sebuah skema tidak sama dengan debit total atau debit maksimum yang tersedia di sungai. Hal ini dipertimbangkan untuk menghindari struktur bangunan sipil yang besar, pipa pesat, runner turbin dan fasilitas pembuangan air untuk mengakomodasi aliran yang besar. Jadi, debit diperlukan untuk mengetahui batasan arus tertinggi sampai arus terendah yang terjadi dalam aliran sungai. Variasi dari besarnya debit sepanjang tahun dan perubahannya selama musim hujan dan musim kering perlu diketahui dan dianalisa dengan cermat untuk menentukan debit desain yang akan diaplikasikan dalam sistem. Debit desain biasanya ditentukan sedikit diatas batas minimum untuk menjaga fermormansi dan efisiensi

peralatan pembangkit. Metode pengukuran dan penjelasan mengenai debit akan di bahas pada modul berikutnya.

Energi potensial dan energi kinetik di dalam air

Energi dapat terjadi dalam berbagai bentuk: potensial, kinetik, panas, dll. Air di penampungan di atas bukit mempunyai energi potensial yang lebih besar daripada air yang berada di bawah bukit. Apabila air dilepaskan dari atas bukit menuju sungai, akan melepaskan energi potensialnya melalui gesekan di dasar sungai dan turbulansi. Apabila air mengalir menuruni bukit melewati pipa yang halus, sedikit energi akan hilang akibat gesekan dan turbulansi dan energi yang terkandung dalam air dapat digunakan untuk membangkitkan daya mekanis di dalam turbin. Energi total yang tersedia dari volume air di atas bukit merupakan berat air dikalikan dengan jarak vertical (tinggi jatuh) secara teoritis menuju turbin.

$$E_{pot} = m\,g\,H$$

dimana ;

m = masa air --- kg

g = gaya gravitasi ---- (9.81 m/s^2)

H = tinggi jatuh dalam --- m

Karena berat air adalah volume (V) dikalikan kekentalan (ρ) kita dapat menuliskan:

Persamaan 1: $E_{pot} = V x\, \rho x\, m x\, g x\, H$

Potensi tenaga air

Daya dapat ditunjukkan sebagai energi per satuan waktu

$$P = \frac{V x\, \rho x\, g x\, H}{t}$$

Karena volume per satuan waktu sama dengan debit kita dapat menuliskan:

Persamaan 2: $P_{hydr} = Q x \rho x g x H_n$

dimana ;

P_{hydr} = **daya hidrolik** dalam Watt [W], tidak mempertimbangkan pengurangan karena efisiensi peralatan (turbin, generator, dll.)

Q = debit dalam m3/detik

ρ = kekentalan air = kira-kira 1000 kg/m3

g = percepatan gravitasi = 9.81 m/m2

Hnett = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

BABVI
KONVERSI ENERGI SURYA KE LISTRIK DAN PANAS

6.1. Sejarah perkembangan pemanfaatan energi matahari untuk kehidupan sehari-hari

Jika kita melihat tingkat konsumsi energi di seluruh dunia saat ini, penggunaan energi diprediksikan akan meningkat sebesar 70 % antara tahun 2000 sampai 2030. Sumber energi yang berasal dari fosil, yang saat ini menyumbang 87,7% dari total kebutuhan energi dunia diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru.

Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara. Kondisi keterbatasan sumber energi di tengah semakin meningkatnya kebutuhan energi dunia dari tahun ketahun (pertumbuhan konsumsi energi tahun 2004 saja sebesar 4,3 %), serta tuntutan untuk melindungi bumi dari pemanasan global dan polusi lingkungan membuat tuntutan untuk segera mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi yang terbaharukan.

Di antara sumber energi terbaharukan yang saat ini banyak dikembangkan seperti turbin angin, tenaga air (hydro power), energi gelombang air laut, tenaga surya, tenaga panas bumi, tenaga hidrogen, dan bio-energi], tenaga surya atau solar sel merupakan salah satu sumber yang cukup menjanjikan.

Energi surya adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Energi surya menjadi salah satu sumber pembangkit daya selain dan Teknik pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun , 1839 ditemukan oleh ***Edmund Becquerel***.

Penerapan energi surya

Energi surya telah banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa diantara aplikasi tersebut antara lain :

1. Pencahayaan bertenaga surya
2. Pemanasan bertenaga surya, untuk memanaskan air, memanaskan dan mendinginkan ruangan,
3. Desalinisasi dan desinfektisasi
4. Untuk memasak, dengan menggunakan kompor tenaga surya.

Sel surya

Sel surya ialah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung.Sering juga dipakai istilah photovoltaic atau fotovoltaik. Sel surya pada dasarnya terdiri atas sambungan p-n yang sama fungsinya dengan sebuah dioda (diode). Sederhananya, ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, energi yang dibawa oleh sinar matahari ini akan diserap oleh elektron pada sambungan p-n untuk berpindah dari bagian dioda p ke n dan untuk selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel.

Sejarah sel surya

Sejarah sel surya dapat dilihat jauh ke belakang ketika pada tahun 1839 Edmund Becquerel, seorang pemuda Prancis berusia 19 tahun menemukan efek yang sekarang dikenal dengan efek fotovoltaik ketika tengah berkesperimen menggunakan sel larutan elektrolisis yang dibuat dari dua elektroda. Becquerel menemukan bahwa beberapa jenis material tertentu memproduksi arus listrik dalam jumlah kecil ketika terkena cahaya.

Era sel surya modern baru dimulai satu abad setelah penemuan fenomena fotovoltaik pertama, yakni ketika tiga peneliti Bell Laboratories di AS (Chapin, Fullr dan Pearson) secara tidak sengaja menemukan bahwa sambungan dioda pn dari silikon mampu membangkitkan tegangan

listrik ketika lampu laboratorium dinyalakan. Pada tahun yang sama, usaha mereka telah berhasil membuat sebuah sel surya pertama dengan efisiensi sebesar 6%. Dari titik inilah penelitian sel surya akhirnya berkembang hingga saat ini, dengan banyak jenis dan teknologi pembuatannya.

Efisiensi sel surya

Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara tenaga listrik yang dihasilkan oleh divais solar sel dibandingkan dengan jumlah energi yang diterima dari pancaran sinar matahari.Pembangkit energi surya sebenarnya tergantung pada efisiensi mengkonversi energi dan konsentrasi sinar matahari yang masuk ke dalam sel tersebut.

Professor Smalley, peraih Nobel bidang kimia atas prestasinya menemukan Fullerene, menyatakan bahwa teknologi nano menjanjikan peningkatan efisiensi dalam pembuatan sel surya antara 10 hingga 100 kali pada sel surya. Smalley menambahkan bahwa cara terbaik untuk mendapatkan energi surya secara optimal telah terbukti ketika sel surya dimanfaatkan untuk keperluan satelit ruang angkasa dan alat alat yang diletakkan di ruang angkasa. Penggunaan sel surya dengan meletakkannya di ruang angkasa dapat dengan baik dilakukan karena teknologi nano diyakini akan mampu menciptakan material yang super kuat dan ringan yang mampu bertahan di ruang angkasa dengan efisiensi yang baik.

Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt permeter persegi. Jika sebuah divais semikonductor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10 persen maka modul solar sel ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt.

Saat ini, efisiensi sel surya dapat dibagi menjadi efisiensi sel surya komersil dan efisiensi sel surya skala laboratorium.Sel surya komersil yang sudah ada di pasaran memiliki efisiensi sekitar 12-15%. Sedangkan efisiensi sel surya skala laboratorium pada umumnya 1,5 hingga 2 kali efisiensi sel surya skala komersil. Hal ini disebabkan pada luas

permukaan sel surya yang berbeda. Tipe silikon kristal merupakan jenis divais solar sel yang memiliki efisiensi tinggi meskipun biaya pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan jenis solar sel lainnya.

Pada sel surya di pasaran, sel yang dipasarkan pada umumnya memiliki luas permukaan 100 cm^2 yang kemudian dirangkai mejadi modul surya yang terdiri atas 30-40 buah sel surya.Dengan semakin besarnya luas permukaan sel surya, maka sudah menjadi pengetahuan umum jika terdapat banyak efek negatif berupa resistansi sirkuit, cacat pada sel dan sebagainya, yang mengakibatkan terdegradasinya efisiensi sel surya.

Pada sel surya skala laboratorium, luas permukaan sel yang diuji hanya berkisar kurang dari 1 cm^2.Hal ini dimaksudkan untuk melihat kondisi ideal sel surya yang bebas dari cacat maupun resistansi ketika dihubungkan ke sebuah sirkuit. Disamping itu, kecilnya luas permukaan sel surya memudahkan proses pembuatannya di mana alat yang dipakai di dalam laboratorium ialah alat yang berukuran kecil.

Perkembangan sel surya

Perkembangan yang menarik dari teknologi sel surya saat ini salah satunya adalah sel surya yang dikembangkan oleh *Michael Gratzel*.Gratzel memperkenalkan tipe solar sel photokimia yang merupakan jenis solar sel exciton yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang di endapkan dalam sebuah perendam (dye).

Jenis ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1991 oleh Gratzel, sehingga jenis solar sel ini sering juga disebut dengan sel Gratzel atau dye-sensitized solar cells (DSSC).Sel Gratzel dilengkapi dengan pasangan redoks yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padat atau cairan). Komposisi penyusun solar sel seperti ini memungkinkan bahan baku pembuat sel Gratzel lebih fleksibel dan bisa dibuat dengan metode yang sangat sederhana seperti screen printing.

Meskipun solar sel generasi ketiga ini masih memiliki masalah besar dalam hal efisiensi dan usia aktif sel yang masih terlalu singkat, solar sel

jenis ini diperkirakan mampu memberi pengaruh besar dalam sepuluh tahun ke depan mengingat harga dan proses pembuatannya yang sangat murah. Indonesia sebenarnya sangat berpotensi untuk menjadikan solar sel sebagai salah satu sumber energi masa depannya mengingat posisi Indonesia pada khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di permukaan bumi di hampir seluruh Indonesia.

Potensi sel surya di Indonesia

Berdasarkan perhitungan Mulyo Widodo dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga 1000 Watt. Lebih jauh pakar solar sel Wilson Wenas menyatakan bahwa total intensitas penyinaran perharinya di Indonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini. Dengan letaknya di daerah katulistiwa, matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya.

Dengan kondisi yang sangat potensial ini sudah saatnya pemerintah dan pihak universitas membuat satu pusat penelitian solar sel agar Indonesia tidak kembali hanya sebagai pembeli divais solar sel di tengah melimpahnya sinar matahari yang diterima di bumi Indonesia.Namun teknologi ini masih terbilang cukup mahal, Karena solar sel yang berada di pasaran harganya masih cukup tinggi, sehingga pemerintanh masih enggan melirik teknologi ini.Penelitian di bidang tenaga surya sangat dibutuhkan utnuk mengembangkan potensi Indonesia sebagai negera tropis. Teknologi sel surya murah dan ramah lingkungan di perlukan utuk pengembangan potensi Indonesia mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sepanjang pengetahuan penulis, level produksi sel surya di Indoneisa masih dalam tahap assembly atau perakitan yang beberapa bahannya diimpor dan sebagian diproduksi di dalam negeri. PT LEN sejauh ini mempu membuat sel surya tersebut.Secara khusus, pabrik sel surya di

Indonesia masih etrbilang sangat langka.Produk produk sel surya yang dipasarkan di Indonesia mayoritas merupakan hasil impor.

Sel surya mengandalkan siraman sinar matahari dengan intensits yang memadai. Dengan letak geografis Indonesia di khatulistiwa dengan jaminan limpahan sinar matahari sepanjang tahun tidak mengalami perubahan berarti, maka sel surya patut menjadi salah satu bentuk energi masa depan yang perlu dikembangkan oleh anak bangsa. Hal ini pula didukung oleh efisiensi sel surya yang terus meningkat plus biaya produksi nya yang semakin kecil.

Sarana pendukung pemanfaatan sel surya

Sel surya hanya merupakan satu komponen penyerap cahaya yang langsung mengkonversi cahaya tsb menjadi litstrik. Agar listrik dari sel surya ini dapat dimanfaatkan, maka sel surya membutuhkan apa yang disebut dengan Balance of System (BOS) yang paling minim terdiri atas; inverter (mengubah listrik DC dari sel surya menjadi listrik AC untuk keperluan sehari hari), baterei (untuk menyimpan kelebihan muatan listrik guna pemakaian darurat atau malam hari), serta beberapa buah controller untuk mengatur secara optimal daya keluaran sel surya.

Secara umum, harga sel surya berikut BOS sekitar US$ 8-10/Watt.Harga ini harga sel surya tanpa adanya subsidi atau potongan harga dsb.Dan biaya sel surya biasa dikonversi ke dalam satuan US$/Watt. Jika seseorang ingin membeli sel surya untuk keperluan penerangan rumah tangga yang sekitar 900 Watt, maka secara kasar biaya yang perlu dikeluarkan (diinvestasikan) sebesar 900 Watt x US$ 8 = US$ 7200. Harga ini sudah termasuk biaya pemasangan dan beberapa komponen pendukung untuk dipasang di atap sebuah rumah.Dengan adanya beberapa kebijakan pemerintah (subsidi, potongan harga, kredit pembelian dsb) harga sel surya ini dapat ditekan hingga hanya tinggal 30% saja.

Sistem sel surya yang digunakan di permukaan bumi terdiri dari panel sel surya, rangkaian kontroler pengisian (charge controller), dan aki (batere)

12 volt yang maintenance free.Panel sel surya merupakan modul yang terdiri beberapa sel surya yang digabung dalam hubungkan seri dan paralel tergantung ukuran dan kapasitas yang diperlukan.Yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt.Modul sel surya itu menghasilkan energi listrik yang proporsional dengan luas permukaan panel yang terkena sinar matahari.

Rangkaian kontroler pengisian aki dalam sistem sel surya itu merupakan rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian akinya.

Kontroler ini dapat mengatur tegangan aki dalam selang tegangan 12 volt plus minus 10 persen. Bila tegangan turun sampai 10,8 volt, maka kontroler akan mengisi aki dengan panel surya sebagai sumber dayanya. Tentu saja proses pengisian itu akan terjadi bila berlangsung pada saat ada cahaya matahari. Jika penurunan tegangan itu terjadi pada malam hari, maka kontroler akan memutus pemasokan energi listrik. Setelah proses pengisian itu berlangsung selama beberapa jam, tegangan aki itu akan naik. Bila tegangan aki itu mencapai 13,2 volt, maka kontroler akan menghentikan proses pengisian aki itu.

Rangkaian kontroler pengisian itu sebenarnya mudah untuk dirakit sendiri.Tapi, biasanya rangkaian kontroler ini sudah tersedia dalam keadaan jadi di pasaran.Memang harga kontroler itu cukup mahal kalau dibeli sebagai unit tersendiri.Kebanyakan sistem sel surya itu hanya dijual dalam bentuk paket lengkap yang siap pakai.Jadi, sistem sel surya dalam bentuk paket lengkap itu jelas lebih murah dibandingkan dengan bila merakit sendiri.

Biasanya panel surya itu letakkan dengan posisi statis menghadap matahari.Padahal bumi itu bergerak mengelilingi matahari.Orbit yang ditempuh bumi berbentuk elip dengan matahari berada di salah satu titik fokusnya. Karena matahari bergerak membentuk sudut selalu berubah, maka dengan posisi panel surya itu yang statis itu tidak akan diperoleh energi listrik yang optimal. Agar dapat terserap secara maksimum, maka

sinar matahari itu harus diusahakan selalu jatuh tegak lurus pada permukaan panel surya.

Jadi, untuk mendapatkan energi listrik yang optimal, sistem sel surya itu masih harus dilengkapi pula dengan rangkaian kontroler optional untuk mengatur arah permukaan panel surya agar selalu menghadap matahari sedemikian rupa sehingga sinar mahatari jatuh hampir tegak lurus pada panel suryanya.Kontroler seperti ini dapat dibangun, misalnya, dengan menggunakan mikrokontroler 8031.Kontroler ini tidak sederhana, karena terdiri dari bagian perangkat keras dan bagian perangkat lunak.Biasanya, paket sistem sel surya yang lengkap belum termasuk kontroler untuk menggerakkan panel surya secara otomatis supaya sinar matahari jatuh tegak lurus.Karena itu, kontroler macam ini cukup mahal.

Ada beberapa alasan mengapa harga sel surya terbilang sangat mahal dibandingkan dengan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit konvensional :

~ Pertama, sel surya mengandalkan bahan silikon sebagai material penyerap cahaya matahari. Dan harga silikon ini meningkat seiring dengan permintaan industri semikonduktor ditambah dengan suplai bahan baku silikon yang terbatas. Silikon yang dipakai sebagai bahan dasar chip di dunia mikroelektronika/semikonduktor ini semakin dibutuhkan mengingat adanya peningkatan tajam untuk produksi peralatan elektronika mulai dari komputer, monitor, televisi dsb. Hal ini diperparah dengan jenis sel surya yang paling banyak dipasarkan di dunia yakni sel surya jenis silikon sehingga sel surya secara langsung harus berkompetisi dengan industri lain untuk mendapatkan bahan baku silikon.

~ Kedua, perlu digaris bawahi bahwa harga listrik konvensional sebagai bahan perbandingan harga listrik sel surya ialah harga setelah mendapat subsidi. Subsidi ini dimaksudkan agar listrik dapat menjangkau segala lapisan masyarakat, sedangkan sel surya sebaliknya, tidak mendapat subsidi atau dukungan yang membuat harga sel surya terasa mahal.Sebagai perbandingan, di negara-negara yang sudah mapan

memanfaatkan sel surya, pemerintah negara-negara tersebut sudah memberlakukan segala program kebijakan agar sel surya dapat memasyarakat semisal subsidi, kredit pembelian, feed-in-tariff dan sebagainya.Sebagai contoh di Korea Selatan, harga sel surya yang dibeli oleh konsumen setempat mampu ditekan hingga 70% sekitar US$ 3 hingga 4 per Watt-nya.

Ada beberapa toko di bilangan Jakarta yang menyediakan produk berikut perangkat penunjang sel surya.Beberapa toko memasarkan sel surya dengan harga Rp. 5 Juta/50 Watt modul sel surya. Harganya mengikuti harga pasaran internasional kira-kira US$ 10/Watt .

Photovoltaic

Pengertian photovoltaic sendiri merupakan proses merubah cahaya menjadi energi listrik.Oleh karena itu bidang penelitian yang berkenaan dengan energi surya ini sering juga dikenal dengan penelitian photovoltaic. Kata photovoltaic sendiri sebenarnya berasal dari bahasa *Yunani*"photos", yang berarti cahaya dan "volta" yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Sehingga secara bahasa dapat diartikan sebagai cahaya dan listrik photovoltaic.

Efek photovoltaic pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli Fisika berkebangsaan Prancis,*Alexandre Edmond Becquerel* pada tahun 1839.Atas prestasinya dalam menemukan fenomena photovoltaic ini, Becquerel mendapat Nobel fisikia pada tahun 1903 bersama dengan *Pierre* dan *Marrie Currie*.Baru pada tahun 1883 divais solar sel pertama kali berhasil dibuat oleh *Charles Fritts*.

Charles Fritts saat itu membuatsemikonduktor Selenium yang dilapisi dengan lapisan emas yang sangat tipis sehingga berhasil membentuk rangkaian seperti hubungan semikonduktor tipe p dan tipe n. Pada saat itu efisiensi yang didapat baru sekitar 1 %.Pada perkembangan berikutnya seorang peneliti bernama *Russel Ohl* dikenal sebagai orang pertama yang membuat paten tentang divais solar sel modern.Efisiensi divais solar sel

dan harga pembuatan solar sel merupakan masalah yang paling penting untuk merealisasikan solar sel sebagai sumber energi alternatif.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Cara kerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan menggunakan Grid-Connected panel sel surya Photovoltaic untuk perumahan : . Modul sel surya Photovoltaic merubah energi surya menjadi arus listrik DC. Arus listrik DC yang dihasilkan ini akan dialirkan melalui suatu inverter (pengatur tenaga) yang merubahnya menjadi arus listrik AC, dan juga dengan otomatis akan mengatur seluruh sistem. Listrik AC akan didistribusikan melalui suatu panel distribusi indoor yang akan mengalirkan listrik sesuai yang dibutuhkan peralatan listrik. Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai di rumah akan diukur oleh suatu Watt-Hour Meters.

Komponen utama sistem surya fotovoltaik adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya fotovoltaik. Untuk membuat modul fotovoltaik secara pabrikasi bisa menggunakan teknologi kristal dan thin film. Modul fotovoltaik kristal dapat dibuat dengan teknologi yang relatif sederhana, sedangkan untuk membuat sel fotovoltaik diperlukan teknologi tinggi.

Modul fotovoltaik tersusun dari beberapa sel fotovoltaik yang
dihubungkan secara seri dan paralel. Biaya yang dikeluarkan untuk membuat modul sel surya yaitu sebesar 60% dari biaya total. Jadi, jika modul sel surya itu bisa diproduksi di dalam negeri berarti akan bisa menghemat biaya pembangunan PLTS. Untuk itulah, modul pembuatan sel surya di Indonesia tahap pertama adalah membuat bingkai (frame), kemudian membuat laminasi dengan sel-sel yang masih diimpor.Jika permintaan pasar banyak maka pembuatan sel dilakukan di dalam negeri. Hal ini karena teknologi pembuatan sel surya dengan bahan silikon single dan poly cristal secara teoritis sudah dikuasai.

Dalam bidang fotovoltaik yang digunakan pada PLTS, Indonesia ternyata telah melewati tahapan penelitian dan pengembangan dan sekarang menuju tahapan pelaksanaan dan instalasi.

Teknologi ini cukup canggih dan keuntungannya adalah harganya murah, bersih, mudah dipasang dan dioperasikan dan mudah dirawat.Sedangkan kendala utama yang dihadapi dalam pengembangan energi surya fotovoltaik adalah investasi awal yang besar dan harga per kWh listrik yang dibangkitkan relatif tinggi, karena memerlukan subsistem yang terdiri atas baterai, unit pengatur dan inverter sesuai dengan kebutuhannya.

Bahan sel surya sendiri terdiri kaca pelindung dan material adhesive transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan, material anti-refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor P-type dan N-type (terbuat dari campuran Silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (tebuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik.

Cara kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda.Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semi-konduktor, terjadi pelepasan elektron.Apabila elektron tersebut bisa menempuh perjalanan menuju bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor, menyebabkan aliran medan listrik. Dan menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik.

PLTS di Indonesia

Memperhatikan kesuksesan Arab Saudi dalam mengaplikasikan pembangkit listrik PV sebagai pensuplai energi listrik untuk penerangan terowongan, Indonesia dapat pula meniru kesuksesan tersebut bila adanya keseriusan dari pemerintah Indonesia di bidang ini.Penduduk Indonesia yang berjumlah sekitar 220 juta, sebagian besar tinggal di pedesaan dan masih banyak yang belum mendapatkan akses terhadap

energi listrik.Sehingga perlu suatu kebijakan yang dapat mendorong penyediaan energi khususnya listrik bagi masyarakat pedesaan.

Pemerintah Indonesia telah berupaya untuk menyediakan energi bagi masyarakat pedesaan terutama listrik.Pemerintah telah mencanangkan program listrik masuk desa bahkan program listrik bertenaga sumber daya lokal seperti tenaga surya. Namun semua itu belum cukup, karena masih banyak daerah pedesaan terutama di daerah terpencil yang belum terjangkau karena sulitnya medan dan besarnya biaya dan investasi yang diperlukan.

Penerapan PLTS oleh BPPT dimulai dengan pemasangan 80 unit PLTS (Solar Home System, Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Lampu Penerangan Rumah) di Desa Sukatani, Jawa Barat pada tahun 1987. Setelah itu pada tahun 1991 dilanjutkan dengan proyek Bantuan Presiden (Banpres Listrik Tenaga Surya masuk Desa) untuk pemasangan 3.445 unit SHS di 15 propinsi yang dinilai layak dari segi kebutuhan (tidak terjangkau oleh PLN), kemampuan masyarakat setempat (pembayaran dengan cara mencicil) dan persyaratan teknis lainnya

Program Banpres Listrik Tenaga Surya Masuk Desa yang telah memperoleh sambutan sangat menggembirakan dari masyarakat pedesaan dan telah terbukti dapat berjalan dengan baik akan dijadikan model guna implementasi Program Listrik Tenaga Surya untuk Sejuta Rumah.

Program ini juga merupakan salah upaya untuk mencapai target Pemerintah dalam melistriki seluruh pedesaan dan daerah terpencil di Indonesia dengan ratio elektrifikasi nasional di atas 75 %. Besarnya biaya investasi untuk per unit PLTS ini mendorong BPPT mencari sumber dana pembiayaan serta membuat pola pengelolaan dan pendanaan. Pola ini terus berubah sejalan dengan kebijakan Pemerintah yang berlaku.

Semenjak tahun 2005, Pemerintah optimis terhadap program-program energi yang dirancangnya melalui Blueprint Pengelolaan Energi Nasional.Banyak jenis energi baru dan terbarukan (EBT) mulai dinyatakan

untuk dikelola secara resmi dan serius di tataran nasional.Salah satunya energi surya, dimana merupakan salah satu perhatian pemerintah dalam meningkatkan aplikasi energi alternatif di Indonesia.Energi surya difokuskan untuk memenuhi kebutuhan energi pada sektor Pembangkitan Tenaga Listrik serta menangani kebutuhan energi Rumah Tangga dan Bangunan Komersial.. Pemerintahpun telah membuat Roadmap Energi Surya untuk mendeskripsikan target-target spesifik dalam mewujudkan keinginan negara ini.

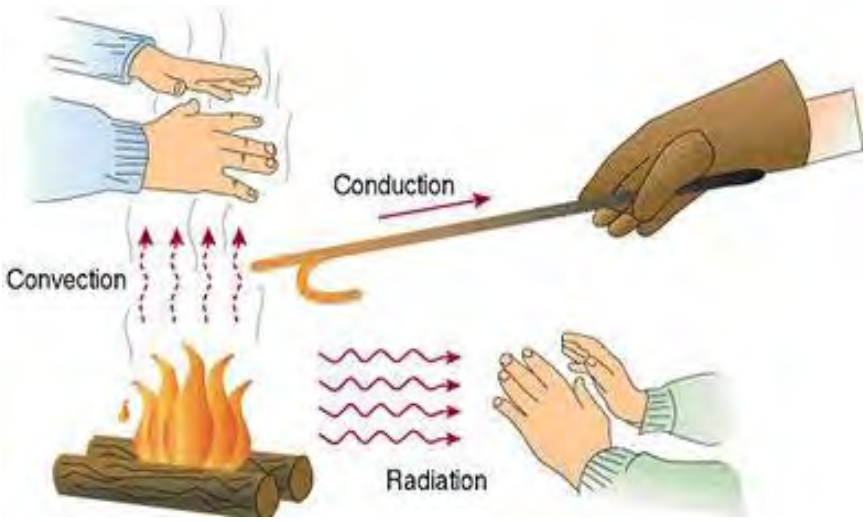
Kondisi bumi kita kian lama kian mengenaskan karena tercemarnya lingkungan dari efek rumah kaca (*greenhouse effect*) yang menyebabkan global warming, hujan asam, rusaknya lapisan ozon hingga hilangnya hutan tropis.Semua jenis polusi itu rata-rata akibat dari penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, uranium, plutonium, batu bara dan lainnya yang tiada hentinya. Padahal kita tahu bahwa bahan bakar dari fosil tidak dapat diperbaharui, tidak seperti bahan bakar non-fosil.

Dengan kondisi yang sudah sedemikian memprihatinkan, gerakan hemat energi sudah merupakan keharusan di seluruh dunia.Salah satunya dengan hemat bahan bakar dan menggunakan bahan bakar dari non-fosil yang dapat diperbaharui seperti tenaga angin, tenaga air, energi panas bumi, tenaga matahari, dan lainnya.Duniapun sudah mulai merubah tren produksi dan penggunaan bahan bakarnya, dari bahan bakar fosil beralih ke bahan bakar non-fosil, terutama tenaga surya yang tidak terbatas.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) akan lebih diminati karena dapat digunakan untuk keperluan apa saja dan di mana saja : bangunan besar, pabrik, perumahan, dan lainnya. Selain persediaannya tanpa batas, tenaga surya nyaris tanpa dampak buruk terhadap lingkungan dibandingkan bahan bakar lainnya.Di negara-negara industri maju seperti Jepang, Amerika Serikat, dan beberapa negara di Eropa dengan bantuan subsidi dari pemerintah telah diluncurkan program-program untuk memasyarakatkan listrik tenaga surya ini.Tidak itu saja di

negara-negara sedang berkembang seperti India, Mongol promosi pemakaian sumber energi yang dapat diperbaharui ini terus dilakukan.

6.2. Prinsip perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi



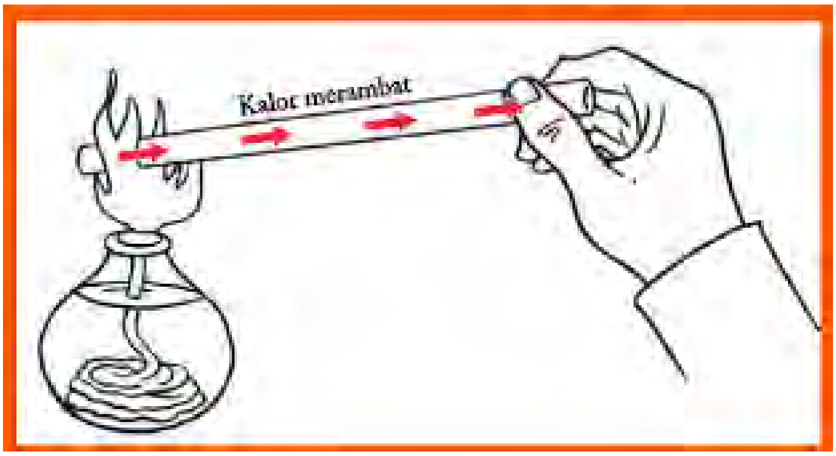
Gambar: perpindahan panas konveksi, radiasi dan konduksi

Pengertian perpindahan panas konveksi, radiasi dan konduksi

Pernahkah anda berfikir apa yang menyebabkan air dalam panci diletakkan diatas kompor bisa mendidih? Tentu hal tersebut bisa terjadi karena adanya perubahan kalor (panas) dari kompor (api) menuju panci kemudian diteruskan ke air. Sebagaimana yang kita ketahui bahwa suhu didih air adalah 100 derajat celcius, maka air baru akan mendidih setelah suhunya mencapai 100°C. Ada beberapa cara bagi kalor (panas) untuk

berpindah yakni ada 3 cara, apa sajakah cara tersebut? Cara tersebut yakni: Konduksi, radiasi dan Konveksi.

1. **Konduksi**

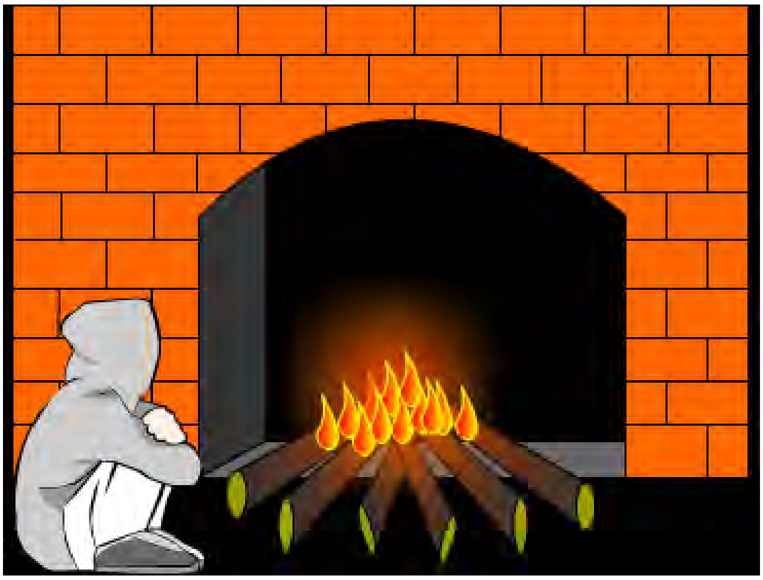


Gambar: perpindahan panas secara konduksi

Pada konduksi perpindahan energi panas (kalor) tidak di ikuti dengan zat perantaranya. Misalnya saja anda menaruh batang besi membara ke batang besi lain yang dingin. Anda tidak akan melihat besi membara itu bergerak namun tiba-tiba besi yang semula dingin akan menjadi panas. Atau dengan contoh yang lebih simpel, yakni satu logam panjang yang dipanaskan. Satu ujung logam panjang yang di beri nama A dipanaskan maka beberapa saat kemudian ujung yang lain (kita

sebut ujung B) juga akan ikut panas. Pemanfaatan Konduksi dalam kehidupan sehari-hari sendiri bisa dengan mudah kita temukan, misalnya saja saat memasak air maka kalor berpindah dari api (kompor) menuju panci dan membuat air mendidih.

2. Radiasi



Gambar: perpindahan panas secara radiasi

Merupakan proses terjadinya perpindahan panas (kalor) tanpa menggunakan zat perantara. Perpindahan kalor secara radiasi tidak membutuhkan zat perantara, contohnya anda bisa melihat bagaimana matahari memancarkan panas ke bumi dan api yang memancarkan hangat ke tubuh anda. Kalor dapat di radiasikan melalui bentuk gelombang cahaya, gelombang radio dan gelombang elektromagnetik. Radiasi juga dapat dikatakan sebagai perpindahan kalor melalui media atau ruang yang akhirnya diserap oleh benda lain. Contoh radiasi

dalam kehidupan sehari-hari dapat anda lihat saat anda menyalakan api unggun, anda berada di dekat api unggun tersebut dan anda akan merasakan hangat. Satu lagi, pernahkah anda memegangcandi prambanan di siang hari? Menurut anda apa yang membuat candi tersebut hangat saat siang hari? Ya karena mendapat radiasi panas dari matahari.

3. Konveksi



Gambar:Perpindahan panas secara konveksi pada air yang dipanaskan

Merupakan perpindahan kalor (panas) yang disertai dengan berpindahnya zat perantara. Konveksi sebenarnya mirip dengan

Induksi, hanya saja jika Induksi adalah perpindahan kalor tanpa disertai zat perantara sedangkan konveksi merupakan perpindahan kalor yang di ikuti zat perantara. Contoh konveksi dalam kehidupan sehari-hari dapat anda lihat pada proses pemasakan air, apakah anda tau apa yang terjadi saat air dimasak? Saat air dimasak maka air bagian bawah akan lebih dulu panas, saat air bawah panas maka akan bergerak ke atas (dikarenakan terjadinya perubahan masa jenis air) sedangkan air yang diatas akan bergerak kebawah begitu seterusnya sehingga keseluruhan air memiliki suhu yang sama. Selain itu contoh konveksi yang lain juga dapat anda temui pada ventilasi ruangan dan cerobong asap.

Sekian semoga membawa manfaat bagi anda. Panas (kalor) memang sangat bermanfaat bagi manusia, namun jika tidak bisa dimanfaatkan dengan benar maka bisa saja justru bisa merugikan. Semua itu tergantung bagaimana cara kita menggunakan dan mengadakan. Jangan lupa baca pengertian Global warming (pemanasan global) dan bagaimana cara mengatasinya, yang juga masih seputar panas.

6.3. Prinsip konversi energi matahari menjadi panas pada peralatan pemanas (pemanas air dan pengering)

Bagaimana Pemanas Air Tenaga Surya Bekerja ?

Pemanas air tenaga surya bekerja berdasarkan dua fenomena:

Warna hitam penyerap panas, dan air panas mengalir ke atas. Sistem ini sangat sederhana dan bagian yang bergerak hanyalah air itu sendiri.

Permukaan Selektif

Type dari suatu sistem yang dipasang tergantung pada penggunaan air dan kondisi udara luar. Permukaan yang dicat hitam dapat ditingkatkan dengan menggunakan permukaan 'selektif'. Permukaan absorber diproses melalui dua tahap, dengan lapisan nickel dan lapisan akhir menggunakan

black chrome.Kinerja dari black chrome sangat superior karena kemampuannya menyerap dan menahan energi matahari. Permukaan selektif digunakan untuk kondisi dingin, berawan untuk mengatasi radiasi matahari yang rendah.

- Prinsip Thermosiphon Langsung

Pada absorber yang diisi air dingin, pada waktu matahari memanaskan kolektor, air panas mengalir keatas masuk kedalam tangki. Air dingin turun kebagian bawah kolektor.Matahari memanaskan air tersebut di dalam kolektor, dan sirkulasi berlangsung terus menerus.Prinsip ini disebut effek Thermosiphon. Makin besar beda temperatur air, makin cepat aliran air panas ke tangki.Pada waktu tidak ada sinar matahari, maka effek Thermosiphon berhenti, dan air disimpan dalam tangki, tetapi panas karena adanya isolasi tangki yang tebal dan masif.

Prinsip Thermosiphon Dengan Heat Exchanger

Pada daerah dengan temperatur mencapai titik beku. Sistem konvensional dengan Open Circuit tidak cocok karena air beku akan mengembang dan memecah pipa pada absorber yang memerlukan biaya perbaikan yang tinggi dan tidak ditanggung sebagai garansi oleh pabrikan. Solahart mengembagkan dan mem-paten-kan sistem Heat Exchanger yang unik yang dikenal dengan nama 'Jacketed Solar Water Heater'. Design ini meng-eliminir kemungkinan kerusakan tersebut. Jacket dipasang sekeliling silinder penyimpan dan dihubungkan dengan absorber. Prinsip Thermosiphon yang sama berproses pada sistem ini. Panas yang dihasilkan kemudian ditransfer ke air yang disimpan dalam tangki.

- Booster Pemanas Air Tenaga Surya

Jumlah air yang dipanaskan oleh matahari bervariasi pada kondisi iklim suatu daerah. Bahkan pada waktu kondisi berawan dan hujan, tetap ada sejumlah energi matahari yang diserap oleh absorber. Ada beberapa daerah di dunia dimana Pemanas Air Tenaga Surya memenuhi kebutuhan air panas tanpa memakai booster. Tetapi, bagi kebanyakan orang, booster diperlukan untuk menutupi kekurangan radiasi matahari pada musim

dingin atau hujan. Booster listrik adalah yang paling umum dipakai, walaupun booster yang paling efisien dan bersih adalah gas booster buatan Solahart. Apapun jenis booster yang dipakai, thermostat akan mengontrol secara otomatis penggunaan energi booster. Pada gas booster, penyalaan api sepenuhnya otomatis. Dengan booster listrik atau gas, pemakai dapat mengatur pemakaiannya pada saat biayanya lebih murah.

- Pemanasan Kembali Air

Apabila semua air panas pada Solahart habis dipakai, maka diperlukan hanya sebentar untuk memanaskan kembali. Waktu pemanasan tergantung pada sinar matahari dan jenis booster. Dari temperatus 20 C, booster listrik memerlukan kira-kira satu jam untuk mengasilkan air panas untuk shower pada 45 C. Umumnya gas booster lebih cepat. Pemanasan kembali akan lebih cepat pada saat matahari mencapai puncaknya (jam 9.00 pagi sampai dengan jam 3.00 sore). Apabila air panas dipakai pada pagi hari, maka matahari akan memanaskan kembali air dingin. Faktor ini menghemat biaya dan menjamin lingkungan yang bersih.

Prinsip Dasar Pengeringan

Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses pindah panas dan pindah massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida di mana cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Jadi panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar supaya dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas. Lama proses pengeringan tergantung pada bahan yang dikeringkan dan cara pemanasan yang digunakan.

Pengeringan sederhana (dengan cara penjemuran)

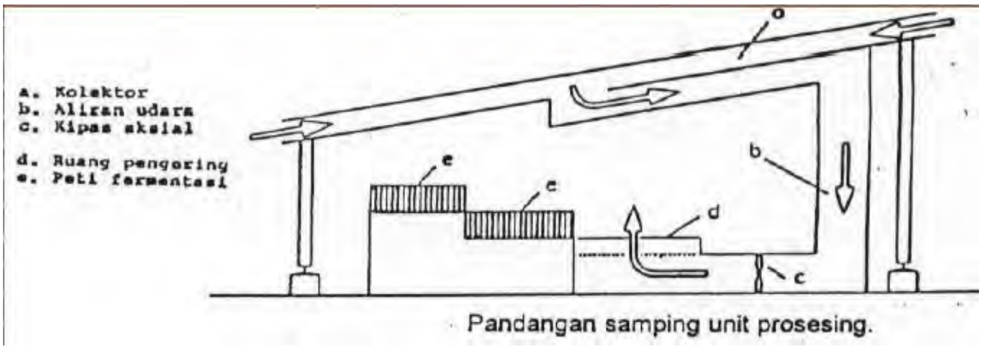
Penjemuran adalah usaha pembuanganatau penurunan kadar air suatu bahanuntuk memperoleh tingkat kadar air yangseimbang dengan kelembaban nisbi udaraatmosfir.

Rumah Pengering Surya

• atap seluas 100 m2 dan berfungsi juga sebagai kolektor matahari. Udara masuk ke kolektor sehingga menjadi panas. Dengan menggunakan kipas angin (blower), udara panas tersebut kemudian "ditarik" dan dihembus ke tempat pengering. Pemasangan atap dibuat dengan kemiringan 10° pada arah utara-selatan.

• Rumah pengering ini dirancang untuk memeroses 2-3 ton biji kakao basah, menggunakan 4 buah blower aksial.

• unit ini mampu berfungsi dengan efektif. Satu siklus pengolahan berlangsung selama 5 hari. Dengan pengoperasian tungku pada malam hari, waktu pengeringan lebih singkat yaitu sekitar 36-44 jam



Gambar: Rumah pengering menggunakan energi sinar matahari

6.4. Prinsip konversi energi matahari menjadi listrik

Sel-sel surya yang biasa kita lihat pada kalkulator, panel surya di atap rumah, atau pada satelit komunikasi, merupakan modul fotovoltaik. Desain sel surya pertama kali dibuat oleh Charles Fritts pada 1883 dengan cara

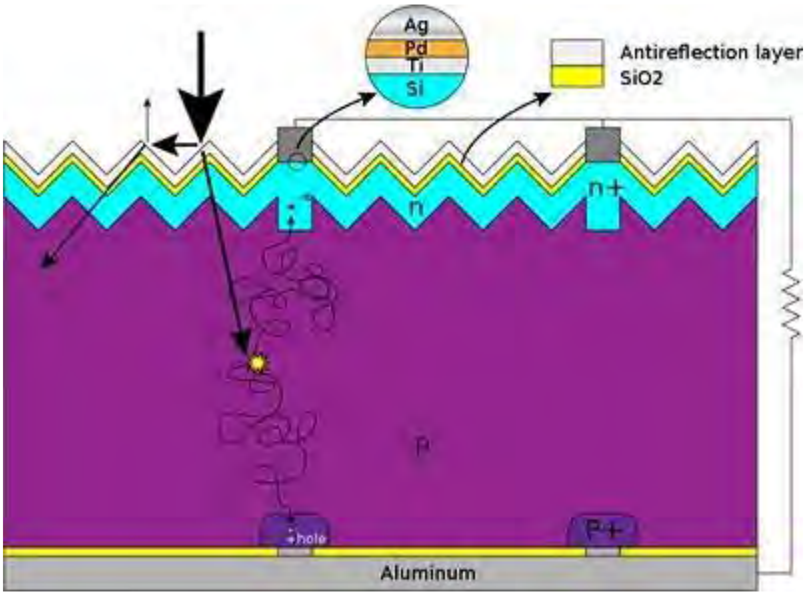
melapisi semikonduktor Selenium dengan lapisan emas ultratipis. Sel surya generasi pertama ini hanya memiliki tingkat efisiensi sebesar 1 persen.

Untuk meningkatkan efisiensi, sel-sel PV modern dibuat dengan material khusus, antara lain silikon. Pada 1954, **Darryl Chapin** dan **Cal Fuller**, dua ilmuwan dari *Bell Labs*, menemukan bahwa material silikon yang di-*dope* dengan beberapa zat pencampur akan menghasilkan material yang sangat sensitif terhadap cahaya. Penemuan ini menghasilkan sel surya pertama yang dapat digunakan secara praktis (dapat diterapkan untuk penggunaan sehari-hari), dengan efisiensi konversi sinar matahari menjadi listrik sekitar enam persen.

Momentum penemuan material baru dengan tingkat efisiensi yang lebih baik oleh Darryl Chapin dan Cal Fuller mendorong sejumlah negara memberi pendanaan bagi penelitian-penelitian yang bertujuan mengembangkan teknologi sel surya. Salah satu hasilnya adalah peningkatan efisiensi konversi hingga 15 persen. Penggunaan pertama panel surya untuk kepentingan masyarakat secara langsung adalah di *Americus*, sebuah kawasan pedesaan dan kota kecil yang terisolir di negara bagian Georgia. Pembangkit listrik tersebut digunakan untuk sumber energi bagi sistem relai telepon setempat. Program tersebut sukses dan berjalan lancar selama bertahun-tahun.

Prinsip kerja panel surya

Secara sederhana, cara kerja panel surya PV dalam mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik dapat dirangkum ke dalam tiga urutan proses konversi:



Gambar: Proses konversi cahaya matahari menjadi energy listrik

1. Ketika foton yang terdapat pada sinar matahari mengenai sel-sel PV pada panel surya, sebagian akan diserap oleh material semikonduktor (silikon). Energi dari foton yang diserap itu dengan demikian juga ditransfer kepada semikonduktor.

2. Elektron-elektron yang terkena tumbukan energi foton akan terlepas dari atom, membuat mereka mengalir secara bebas dan dengan demikian menciptakan arus listrik. Komposisi dan desain khusus pada sel-sel PV mengarahkan elektron-elektron tersebut agar mengalir sesuai jalur yang dikehendaki.

3. Kontak/penghubung logam pada bagian atas dan bawah sel-sel surya menyalurkan keluar listrik arus searah (*direct current, DC*) yang dihasilkan untuk digunakan sesuai kepentingan.

Secara detil, proses yang terjadi sesungguhnya jauh lebih rumit. Namun ketiga urutan langkah di atas menggambarkan secara sederhana apa yang terjadi di dalam sebuah panel surya ketika mereka bekerja keras mengubah sinar matahari menjadi listrik yang bermanfaat buat

kepentingan manusia.

Efisiensi dan energy payback dari panel surya

Sinar matahari memang gratis, namun untuk mengubahnya menjadi listrik tidak gratisan. Untuk mengetahui apakah proses konversi sinar matahari menjadi listrik dengan panel surya itu layak secara ekonomis ataukah sekadar teknologi yang membuang-buang duit, waktu, dan pikiran, digunakanlah parameter *energy payback*.

Energy payback - atau dikenal juga sebagai *harvesting ratio* - adalah periode *recovery* alias pemulihan energi yang dibelanjakan selama proses pembuatan sistem energi. Panel surya modern merupakan *net energy producer*, artinya panel surya tersebut selama masa pakainya memproduksi energi dalam jumlah yang lebih besar dibanding jumlah energi yang dipakai untuk proses pembuatannya.

Teknologi fotovoltaik mengalami kemajuan secara signifikan sehingga modul PV modern saat ini memiliki *energy payback* antara 1 - 4 tahun (tergantung pada tipe dan tempat panel itu digunakan). Teknologi *thin film* bahkan secara signifikan mampu memperpendek waktu *energy payback* menjadi kurang dari satu tahun dengan masa pakai 20 hingga 30 tahun. Ini artinya biaya yang anda keluarkan untuk membeli instalasi panel surya akan kembali dalam waktu kurang dari satu tahun. Tentu yang dimaksud biaya kembali di sini bukan dalam bentuk uang *cash*, melainkan berupa penghematan biaya tagihan atau biaya lain yang biasa anda keluarkan jika berlangganan listrik biasa.

*First Solar Inc*, sebuah perusahaan pembuat panel surya Amerika Serikat, telah mampu menurunkan biaya pembuatan panel surya hingga $1 per watt. Walau demikian, menurut Popular Mechanic, komponen biaya pembuatan hanya memiliki andil kurang dari setengah biaya instalasi panel surya secara keseluruhan. Untuk dapat meraih *grid parity*(tingkat kelayakan ekonomi yang sama dengan listrik konvensional), biaya pembuatan harus bisa ditekan setidaknya hingga $0.65 to $0.70 per watt, dan biaya instalasi lain tidak boleh lebih dari $1 per watt. Target ini diharapkan dapat dicapai pada 2012.

Panel surya - walau telah mengalami peningkatan yang signifikan dalam teknologinya - sejauh ini masih belum mampu bersaing dengan sumber energi konvensional. Masih lebih mudah, murah, dan fleksibel bagi kebanyakan orang untuk memilih berlangganan listrik ke PLN daripada menginstal panel surya di atap rumahnya. Namun kita harus memiliki pola pikir jangka panjang. Di masa mendatang permintaan akan semakin meningkat. Tingkat efisiensi modul surya akan semakin tinggi seiring penelitian untuk mencari material dan teknologi yang lebih baik.

Ketika dapat diproduksi secara masal, harga akan cenderung turun. Ketika teknologi sudah benar-benar siap dan*feasible*, akan semakin

banyak orang di masa mendatang memilih menggunakan energi hijau, yakni energi yang dihasilkan dari sumber terperbarukan dan proses yang tidak merusak lingkungan.

BAB VII
RADIASI DAN PANAS MATAHARI

7.1. Pendataan Pemanfaatan Energi Matahari Dalam Kehidupan Sehari-Hari



Tenaga matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksplotasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi **listrik tenaga matahari** atau untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari. Tumbuhan mengubah sinar matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan fotosintesis. Kita memanfaatkan energi ini dengan memakan dan membakar kayu.

Bagimanapun, istilah "**tenaga surya**" mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. Dua tipe dasar **listrik tenaga matahari**adalah "sinar matahari" dan "photovoltaic" (photo- cahaya, voltaic=tegangan) Photovoltaictenaga matahari: melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang

dapat disesuaikan untuk melepas elektron, pertikel bermuatan negative yang membentuk dasar listrik.

Bahan semi konduktor yang paling umum dipakai dalam sel photovoltaic adalah silikon, sebuah elemen yang umum ditemukan di pasir. Semua sel photovoltaic mempunyai paling tidak dua lapisan semi konduktor seperti itu, satu bermuatan positif dan satu bermuatan negatif. Ketika cahaya bersinar pada semi konduktor, lading listrik menyeberang sambungan diantara dua lapisan menyebabkan listrik mengalir, membangkitkan arus DC. Makin kuat cahaya, makin kuat aliran listrik.

Sistem photovoltaic tidak membutuhkan cahaya matahari yang terang untuk beroperasi. Sistem ini juga membangkitkan listrik di saat hari mendung, dengan energi keluar yang sebanding ke berat jenis awan. Berdasarkan pantulan sinar matahari dari awan, hari-hari mendung dapat menghasilkan angka energi yang lebih tinggi dibandingkan saat langit biru sedang yang benar-benar cerah.

Saat ini, sudah menjadi hal umum piranti kecil, seperti kalkulator, menggunakan solar sel yang sangat kecil. Photovoltaic juga digunakan untuk menyediakan listrik di wilayah yang tidak terdapat jaringan pembangkit tenaga listrik. Penggunaan sel photovoltaic sebagai desain utama oleh para arsitek semakin meningkat. Sebagai contoh, atap ubin atau slites solar dapat menggantikan bahan atap konvensional. Modul film yang fleksibel bahkan dapat diintegrasikan menjadi atap vaulted, ketika modul semi transparan menyediakan percampuran yang menarik atara bayangan dengan sinar matahari.

Sel photovoltaic juga dapat digunakan untuk menyediakan tenaga maksimum ke gedung pada saat hari di musim panas ketika sistem AC membutuhkan energi yang besar, hal itu membantu mengurangi beban maskimum elektrik. Baik dalam skala besar maupun skala kecil photovoltaic dapat mengantarkan tenaga ke jaringan listrik, atau dapat disimpan dalam selnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Matahari

Kaca-kaca besar mengkonsetrasikan cahaya matahari ke satu garis atau titik. Panas yang dihasilkan digunakan untuk menghasilkan uap panas. Panasnya, tekanan uap panas yang tinggi digunakan untuk menjalankan turbin yang menghasilkan listrik. Di wilayah yang disinari matahari, Pembangkit Listrik Tenaga matahari dapat menjamin pembagian besar produksi listrik.

Berdasarkan proyeksi dari tingkat arus hanya 354MW, pada tahun 2015 kapasitas total pemasangan pembangkit tenaga panas matahari akan melampaui 5000 MW. Pada tahun 2020, tambahan kapasitas akan naik pada tingkat sampai 4500 MW setiap tahunnya dan total pemasangan kapasitas tenaga panas matahari di seluruh dunia dapat mencapai hampir 30.000 MW- cukup untuk memberikan daya untuk 30 juta rumah.

Pemanas dan Pendingin Tenaga Matahari

Panas tenaga matahari menggunakan panas matahari secara langsung. Pengumpul panas matahari diatap rumah dapat menyediakan air panas untuk rumah, dan sangat membantu menghangatkan rumah. Sistem panas matahari berdasarkan prinsip sederhana yang telah dikenal selama berabad-abad: matahari memanaskan air yang mengisi bejana gelap. Teknologi tenaga panas matahari yang ada di pasar saat ini sangat efisien dan bisa diandalkan. Saat ini pasar menyediakan tenaga matahari untuk aplikasi dengan cakupan luas, dari pemanas air domestik dan pemanas ruangan di perumahan dan gedung-gedung komersial, sampai pemanas kolam renang, tenaga matahari-pendingin, proses pemanasan industri dan memproses air menjadi tawar.

Saat ini produksi pemanas air panas domestik merupakan aplikasi paling umum untuk tenaga panas matahari. Di beberapa negara hal ini telah menjadi sarana yang umum digunakan oleh gedung tempat tinggal. Tergantung pada kondisi dan konfigurasi sistem, kebutuhan air panas dapat disediakan oleh tenaga matahari hingga 100% . Sistem yang lebih

besar dapat ditambahkan untuk menutupi bagian penting dari kebutuhan energi untuk pemanas ruangan. Ada dua tipe teknologi: Tabung vakum- penyedot di dalam tabung vakum menyedot radiasi dari matahari dan memanaskan cairan di dalam, seperti di panel tenaga matahari datar. Tambahan radiasi diambil dari reflektor di belakang tabung. Bentuk bundar tabung vakum membuat cahaya matahari dari berbagai sudut dapat mencapai penyerap secara langsung. Bahkan di saat mendung, ketika cahaya datang dari banyak sudut pada saat bersamaan, tabung vakum kolektor tetap dapat efektif. Kolektor solar panel datar- pada dasarnya merupakan kotak yang ditutupi kaca yang ditaruh di atap seperti cahaya langit. Di dalam kotak terdapat serangkaian tabung pemotong dengan sirip pemotong terpasang. Seluruh struktur dilapisi substansi hitam yang didesain untuk menangkap sinar matahari. Sinar ini memanaskan air dan campuran bahan anti beku, yang beredar dari kolektor turun ke pemanas air di bawah tanah.

Pendingin tenaga matahari: Pendingin tenaga matahari menggunakan sumber energi panas untuk menghasilkan dingin dan /atau mengurangi kelembaban udara dengan cara yang sama dengan lemari pendingin atau AC konvensional. Aplikasi ini cocok dengan energi panas matahari, sejalan dengan meningkatnya permintaan pendingin ketika panas matahari banyak. Pendingin tenaga matahari telah sukses didemonstrasikan. Penggunaan skala besar dapat diharapkan di masa depan, sejalan dengan berkurangnya biaya teknologi ini, terutama untuk sistem skala kecil.

7.2. Pengukuran Potensi Energi Matahari Suatu Wilayah



Solar power adalah sebuah alat untuk menguji, mengukur intensitas energi surya. Energi surya sendiri merupakan energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui perangkat lain menjadi sumber daya energi dalam bentuk lain. Energi surya sendiri menjadi salah satu sumber daya energi selain air, uap,angin, biogas, batu bara, dan minyak bumi.

Teknik pemanfaatan energi mahari mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C. Becquerel. Dimana beliau menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Selama kurun waktu lebih dari satu abad itu, sumber energi yang banyak digunakan adalah minyak bumi dan batu bara, seiring waktu kebutuhan akan sumber daya energi makin meningkat maka dibutuhkan altenatif sumber energi selain yang sudah ada. Perangkat alat uji **Solar Power meter** adalah inovasi dalam industri

test & measurement sebagai alat ukur untuk tenaga matahari ini atau perangkat solar cell.

Pada tahun 1958 Upaya untuk pengembangan kembali cara memanfaatkan energi matahari muncul Kembali. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat digunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar, dan alternatif yang bisa di kembangkan untuk peralatan yang lain. Namun Saat ini penggunaan **Solar Power Meter** sudah sangat dibutuhkan mengingat sudah sangat pentingnya mencari alternatif sumber daya energi lain yaitu sumber daya tenaga matahari (solar cell) seperti sumber daya tenaga matahri milik jerman ini



Solar Power meter atau perangkat yang menguji tenaga surya, dimana sumber tenaga matahari ini dikonversi dari sinar matahari menjadi listrik, baik secara langsung dengan menggunakan photovoltaic (PV), atau

langsung menggunakan concentrated solar power (CSP) atau tenaga surya terkonsentrasi.

Solar Power meter dapat di aplikasikan untuk berbagai kebutuhan terkait dengan aplikasi solar cell yang dimiliki seperti mengukur tingkat radiasi matahari, untuk penelitian tenaga surya, aplikasi pada bidang fisika maupun laboratorium, dan masih banyak yang lainnya.

Intesitas Radiasi Surya

Karena adanya perubahan letak matahari terhadap bumi maka intensitas radiasi surya yang tiba di permukaan buni juga berubah-ubah. Maka berkaitan dengan hal tersebut di atas radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat kita bedakan menjadi 3 jenis. Ketiga jenis radisi itu adalah

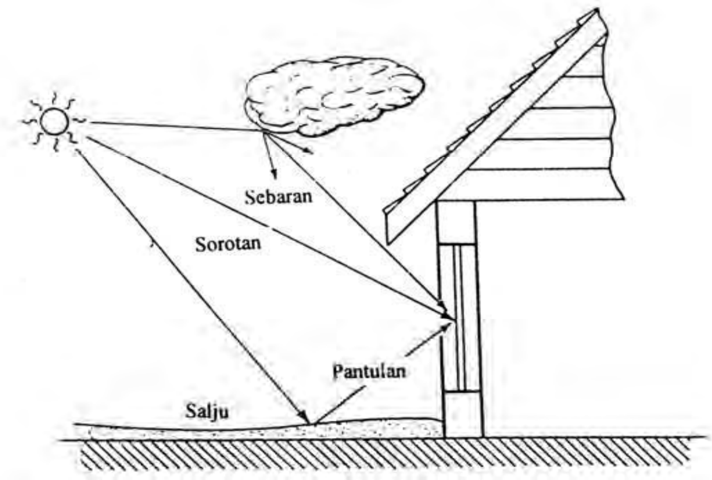
1.Radiasi Langsung (*direct radiation*)

Intensitas radiasi langsung atau sorotan per jam pada sudut masuk normal

2.Radiasi Sebaran (*diffuse radiation*)

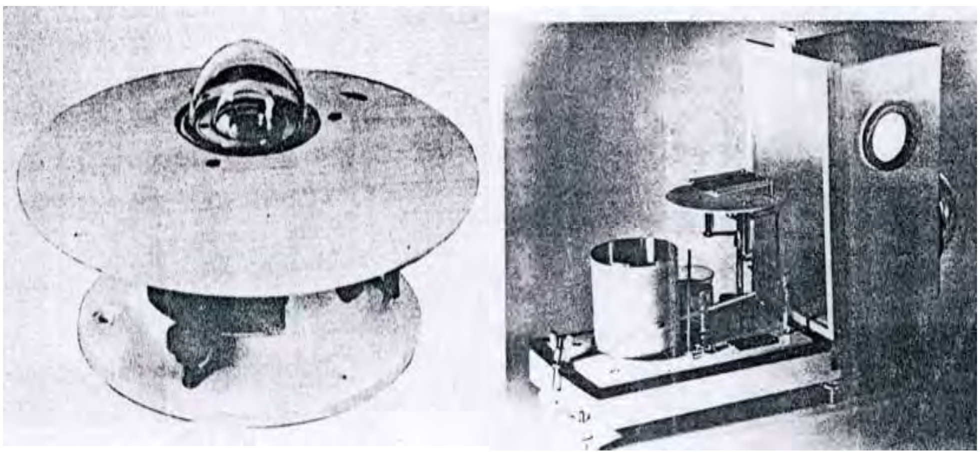
Radiasi sebaran yang disebut juga radiasi langit (*sky radiation*), adalah radiasi yang dipancarkan ke permukaan penerima oleh atmosfer, dan karena itu berasal dai seluruh bagian hemisfer langit. Radiasi sebaran (langit) didistribusikan merata pada hemisfer (disebut distribusi isotropik). Radiasi Pantulan

Selain komponen radiasi lansung dan sebaran, permukaan penerima juga mendapatkan radiasi yang dipantulkan dari permukaan yang berdekatan, jumlah radiasi yang dipantulkan tergantung dari reflektansi □ (albeldo) dari permukaan yang berdekatan itu, dan kemiringan permukaan yang menerima .Radiasi yang dipantulkan per jam, juga disebut radiasi pantulan.



Gambar 2.1..Jenis-jenis radiasi

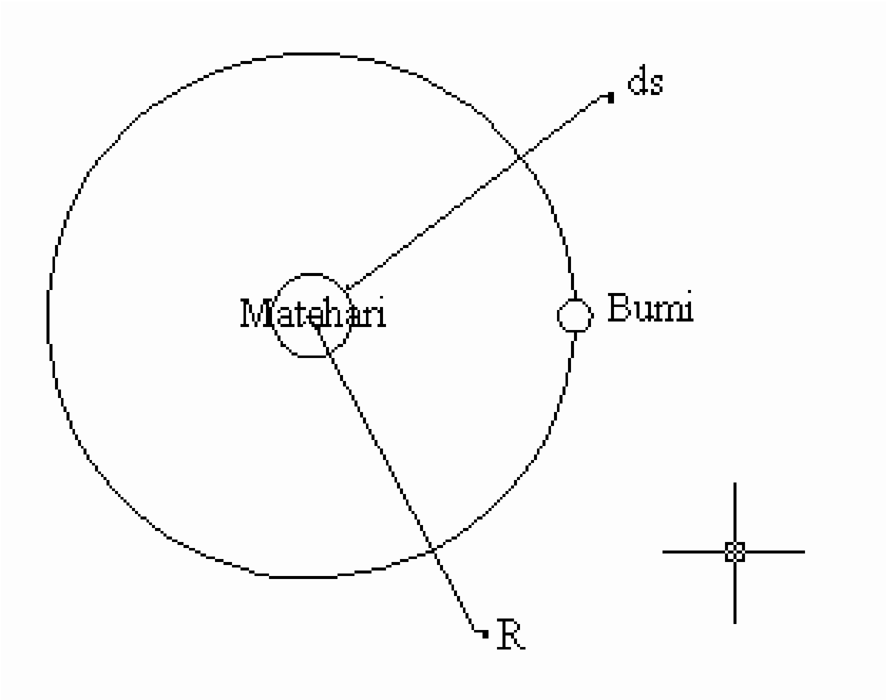
Indonesia yang terletak di daerah tropis memiliki keadaan cuaca yang cukup berawan sehingga porsi radiasi hambur cukup besar. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran terhadap besarnya radiasi global di sebut Piranometer. Alat inimengukur besarnya radiasi matahari yang datang dan segala arah. Sedangkan untuk mengukur radiasi lansung kita menggunakan alat yang disebut Piranograp.



Gambar 2.2. Piranometer (kiri) dan Piranograp (kanan)

Lapisan luar dari matahari yang disebut fotosfer memancarkan suatu spektrum radiasi yang kontinu. Untuk pembahasan ini cukup

dianggap matahari sebagai sebuah benda hitam, sebuah radiator sempurna pada 5762 K. Dalam ilmu fotovoltaik dan studi mengenai permukaan tertentu, distribusi spektral adalah penting.



Gambar 2.3. Bola Surya

Dimana :
ds = Diameter matahari
R = Jarak rata-rata matahari – bumi.

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan matahari, $E_{S,}$ adalah sama dengan hasil perkalian konstanta Stefan-Bolzman, pangkat empat temperatur
permukaan absolut T_S^4 dan luas permukaan d_s^2,

Dengan garis tengah matahari 1,39 x 10^9 m, temperatur permukaan matahari 5762 K, dan jarak rata-rata antara matahari dan bumi sebesar 1,5 x 10^{11} m, maka fluksa radiasi persatuan luas dalam arah yang tegak lurus pada radiasi tepat diluar atmosfer bumi adalah

= 1353 W/m^2

Radiasi surya yang diterima pada satuan luasan di luar atmosfir tegak lurus permukaa matahari pada jarak rata-rata antara matahari dengan bumi disebut konstanta surya adalah 1353 W/m^2 dikurangi intesitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang lansung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekulmolekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi sebagai radiasi sebaran, Pengukuran berikutnya terjadi apabila permukaan penerima radiasi itu tidak pada kedudukan tegak-lurus sorotan radiasi yang masuk.

Tabel 2.1 Satuan lain untuk Konstanta Surya

Konstanta Surya (G_{sc})
1353 W/m^2
429 Btu/(hr.ft$^{2)}$
116.4 Langley/hr
4.871 MJ/m^2.hr

(sumber "Tekhnologi Rekayasa Surya", Diterjemahkan oleh Prof. Wiranto Arismunandar,)

Konstanta surya (G) adalah konstanta yang digunakan sebagai dasar acuan untuk mengetahui besarnya intensitas radiasi surya sebelum mengalami penurunan karena berbagai macam hambatan dalam perjalanannya menuju permukaan bumi. Hambatan yang timbul itu adalah seperti, ketika radiasi surya melewati lapisan-lapisan atmosfir, itu terjadinya yang mempengaruhi posisi matahari, posisi dan letak permukaan pada bumi, dan kondisi-kondisi lainnya.

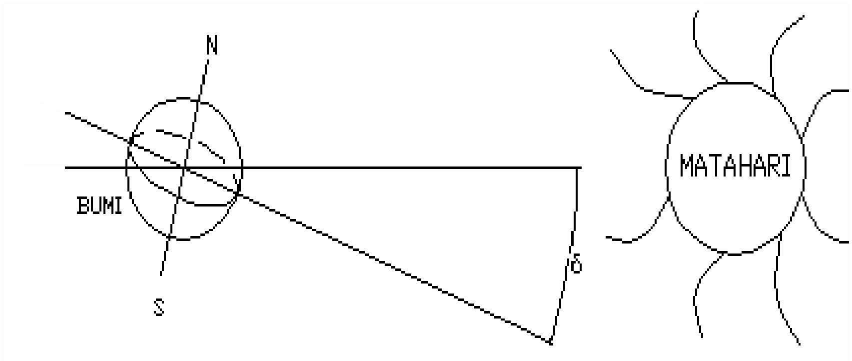
Dari tabel diatas memuat konstanta surya dalam satuan lain. Satuan *langley* sama dengan 1 kalori/cm^2, adalah satuan yang umumnya dapat dijumpai dalam literatur mengenai radiasi surya, dimana 1 kalori = 4,187 Joul, maka 1 langley = 1 kalori/cm^2 = 0,04187 MJ/m^2, suatu faktor konversi yang sering digunakan.

Intensitas Radiasi Surya Pada Bidang Permukaan

Bumi berevolusi pada sumbunya selama 365 hari, bumi juga berrotasi pada sumbunya selama satu hari. Selama berevolusi dan berrotasi pada sumbunya

bumi mengalami kemiringan terhadap .

sumbu vertikalnya sebesar 23,5



Gambar 2.4 Deklinasi matahari, posisi pada musim panas

(sumber "Tekhnologi Rekayasa Surya", Diterjemahkan oleh prof. Wiranto Arismunandar)

Besarnya sudut yang dialami bumi terhadap sumbu vertikalnya di sebut deklinasi. Dan deklinasi inilah yang mempengaruhi terjadinya distribusi sinar matahari dan energi panas surya pada bidang permukaan bumi. Bila hasil perkalian intensitas surya yang diterima bumi dengan cosinus sudut sinar datang, maka besarnya laju energi yang diterima oleh suatu permukaan di bumi dengan luasan persegi.

Data Radiasi Matahari di Wilayah Indonesia

Bedasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari beberapa lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- Untuk Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m^2/hari dengan variasi bulanan sekitar 10 %.
- Untuk Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m2/hari dengan variasi bulanan 9 %.
- Dengan demikian, kecepatan angin rata-rata di Indonesia sekitar 4,8kWh/m^2/hari dengan variasi bulanan 9 %.

Catatan :

Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari di bumi mampu mencapai nilai 1000 W/m^2 = 1 kW/m^2 = 100mW/cm^2.

Tabel 2.2 Radiasi Penyinaran Matahari di Indonesia Pebruari 2008

WILAYAH	**POTENSI RADIASI**	**VARIASI BULANAN**
Kawasan Barat Indonesia (KBI)	Per hari 4,5 kWh/m^2	10 %
Kawasan Timur Indonesia (KTI)	Per hari 5,1 kWh/m^2	9 %
Rata-Rata Wilayah Indonesia	4,5 – 4,8 kWh/m^2/hari	9,5 %

(sumber “htp;//theindonesiannoor.com/index2.html”.)

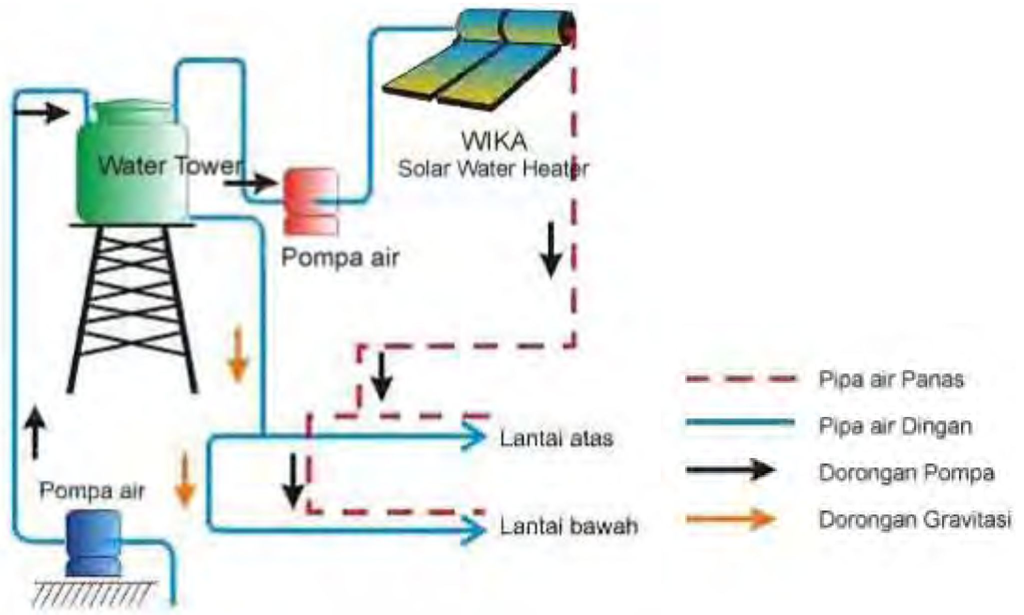
Kemudian diadakan suatu pendekatan Intensitas radiasi surya (GT) yang diterima oleh permukaan atmosfir bumi sesuai tanggal dan bulan

sebagai waktu pelaksanaan, sehingga pada akhirnya radiasi surya yang tiba pada permukaan bumi akan berkurang.

(sumber "Tekhnologi Rekayasa Surya". Diterjemahkan oleh prof. Wiranto Arismunandar)

Konstanta surya (4500 W/m^2). *(sumber tabel 2.2)* n : Jumlah hari, dihitung mulai 1 januari

7.3. Penentuan Spesifikasi Pemanas Air Tenaga Matahari



Indonesia memiliki banyak potensi energi terbarukan, salah satunya tenaga surya (matahari) yang bersih dan ramah lingkungan. Keberuntungan letak geografis, dimana Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m2 per hari di seluruh wilayah Indonesia. Dalam kondisi puncak atau posisi matahari tegak lurus, sinar matahari yang jatuh di permukaan panel surya di Indonesia seluas satu meter persegi akan mampu mencapai 900 hingga

1000 Watt. Dan yang lebih menakjubkan lagi, total intensitas penyinaran tenaga surya perharinya di Indonesia mampu mencapai 4500 watt hour per meter persegi yang membuat Indonesia tergolong kaya sumber energi matahari ini."

7.4. Penentuan Spesifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Secara ekonomi pemanfaatan listrik fotovoltaik di Indonesia dewasa ini lebih sesuai untuk kebutuhan energi yang kecil pada daerah terpencil dan terisolasi. Meskipun pembangkit fotovoltaik skala sangat besar pernah dibangun di luar negeri yang memberikan energinya langsung kepada jaringan listrik. Namun secara finansial kelihatannya belum layak untuk dibangun di Indonesia.

Keuntungan utama yang menarik dari sistem Energi Tenaga Surya Fotovoltaik (SESF) ini adalah:

1. Sistem bersifat modular
2. Pemasangannya mudah
3. Kemungkinan desentralisasi dari sistem
4. Tidak diperlukan transportasi dari bahan bakar
5. Tidak menimbulkan polusi dan kebisingan suara
6. Sistem memerlukan pemeliharaan yang kecil
7. Kesederhanaan dari sistem, sehingga tidak perlu pelatihan khusus bagi pemakai/pengelola
8. Biaya operasi yang rendah

Sistem Fotovoltaik atau secara baku dinyatakan sebagai Sistem Energi Surya Fotovoltaik (SESF) adalah suatu sistem yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energinya. Konsep perancangan SESF dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan tergantung pada kebutuhannya, misalnya untuk :

- Catudaya langsung ke beban
- Sistem DC dengan baterai
- Sistem arus bolak-balik (AC) tanpa baterai
- Sistem AC dengan baterai

Secara umum SESF terdiri dari subsitem sebagai berikut :

- Subsistem Pembangkit

  Merupakan bagian utama pembangkit listrik yang terdiri dari satu atau lebih rangkaian modul fotovoltaik.
- Subsistem Penyimpan/Baterai

  Merupakan bagian SESF yang berfungsi sebagai penyimpan listrik (baterai/accu). Subsistem penyimpanan listrik pada dasarnya diperlukan untuk SESF yang dirancang untuk operasi malam hari atau SESF yang harus memiliki kehandalan tertentu.

- Subsistem Pengaturan & Pengkondisi Daya
  Berfungsi untuk memberikan pengaturan, pengkondisian daya (misal: merubah ke arus bolak balik), dan / atau pengamanan sedemikian rupa sehingga SESF dapat bekerja secara efisien, handal dan aman,
- Subsistem Beban
- Bagian akhir dari penggunaan SESF yeng mengubah listrik menjadi energi akhir, seperti: lampu penerangan, televisi, tape / radio, lemari pendingin dan pompa air.

Sel Surya

Sel Surya atau sel fotovoltaik berasal dari bahasa Inggris*“photo voltaic”.* Kata *Photovoltaic* berasal dari dua kata *“photo”* berasal dari kata Yunani yakni *“phos”*yang berarti cahaya; dan kata *“volt”*adalah nama satuan pengukuran arus listrik yang diambil dari nama penemu Alessandro Volta (1745-1827), sebagai pionir dalam mempelajari teknologi kelistrikan.

Jadi secara harfiah “photovoltaic” mempunyai arti Cahaya-Listrik, dan itu yang dilakukan Sel Surya yaitu merubah energi cahaya menjadi listrik, penemunya Edmond Becquerel dan kawan-kawan pada abad ke 18.

Proses Konversi Energi pada Sel Surya

Apabila suatu bahan semikonduktor seperti misalnya bahan silikon diletakkan dibawah penyinaran matahari, maka bahan silikon tersebut akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang biasa disebut *efek fotolistrik.*

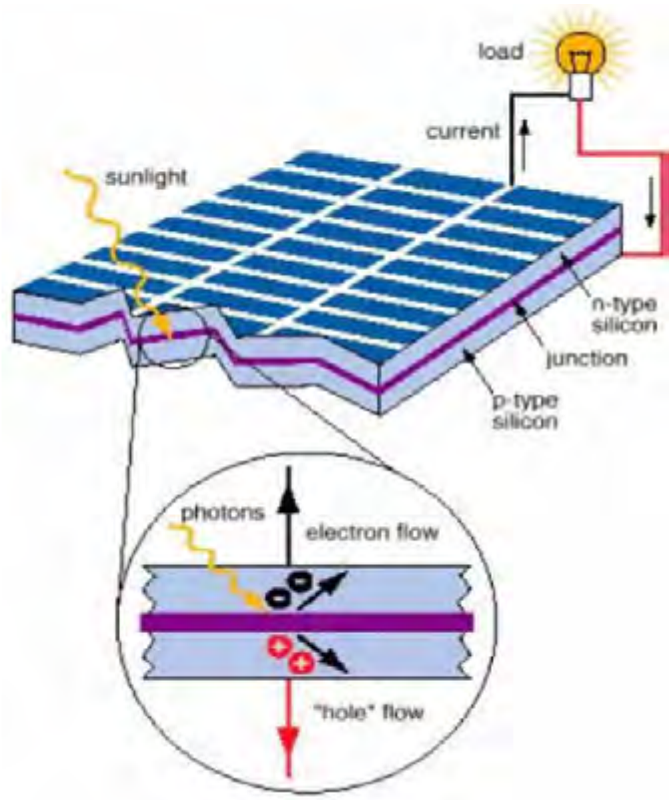
Yang dimaksud efek fotolistrik adalah pelepasan elektron dari permukaan metal yang disebabkan penumbukan cahaya. Effek ini merupakan proses dasar fisis dari fotovoltaik merubah energi cahaya menjadi listrik.

Cahaya matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut sebagai *“photons”* yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung dari panjang gelombang pada *“solar spectrum”.*

Pada saat photon menumbuk sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau mungkin hanya diteruskan. Cahaya yang diserap membangkitkan listrik. Pada saat terjadinya tumbukan energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor.

Dengan energi yang didapat dari photon, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada.

Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau *"hole"*.



Gambar 1:

Konversi cahaya matahari menjadi listrik

Jenis-jenis Sel Surya

Bermacam-macam teknologi telah diteliti oleh para ahli di dunia untuk merancang dan membuat sel fotovoltaik yang lebih baik, murah, dan efisien diantaranya adalah:

A. Generasi pertama Kristal (Single Crystal)

Konfigurasi normal untuk Sel Fotovoltaik terdiri *p-n Junction* Mono Kristal Silikon material mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Ditumbuhkan dengan sistem yang paling terkenal Metode Czochralski dapat dilihat di gambar.2, hasil berbentuk silinder dengan panjang 12cm, diameter tertentu 2 – 5inch, alat pemotong yang terbaru adalah gergaji yang mampu memotong dua sisi sekaligus dengan kapasitas 4000 wafer per-jam.



Gambar 2: Metoda Penumbuhan Kristal Mono Czochralski dan Produk Ingot





(a) (b)

Gambar 3:(a) Sel surya Single Kristal; (b) modul surya single Kristal

Efisiensi sel surya jenis Single Kristal Silikon mempunyai efisiensi konversi yang cukup tinggi yaitu sekitar 16% sampai dengan 17%.

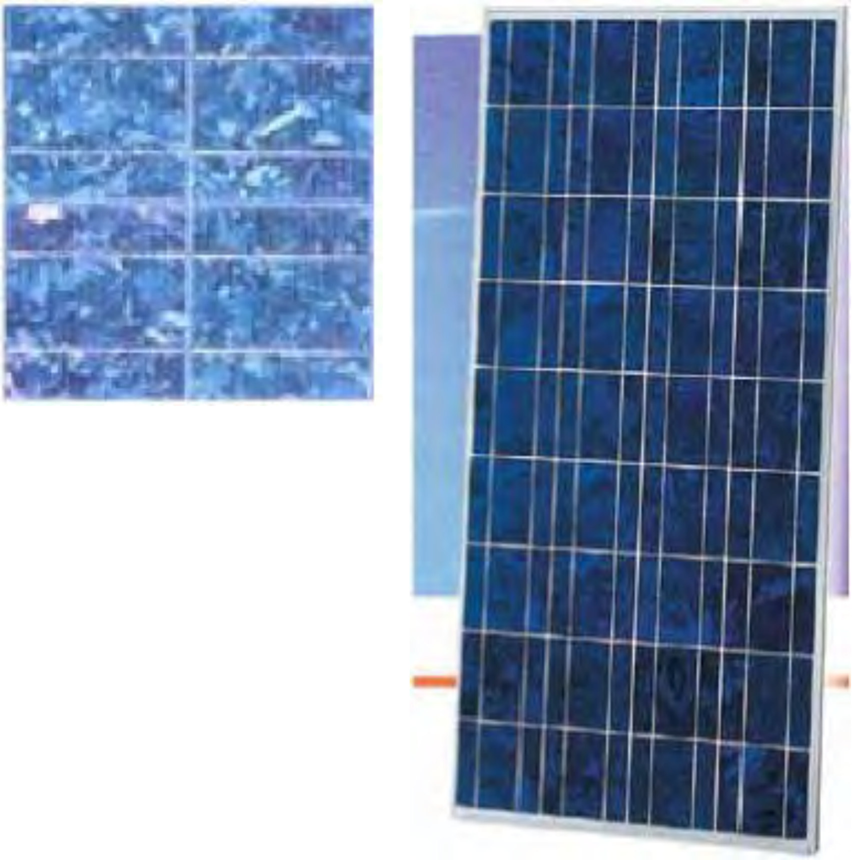
B. Generasi Kedua Kristal (Polikristal)

Material Mono Kristal harga per kilogram masih mahal, untuk menurunkan harga material, dikembangkan material lain yang disebut Polikristal.

Pembuatan wafer dengan material ini menggunakan Metode Casting (gambar 9), kemudian dipotong dengan ukuran 40 x 40 cm2. Efisiensi modul fotovoltaik polikristal yang komersial mencapai 12% s/d 14%.



Gambar 4: Metoda Casting Pembuatan Bahan Polikristal



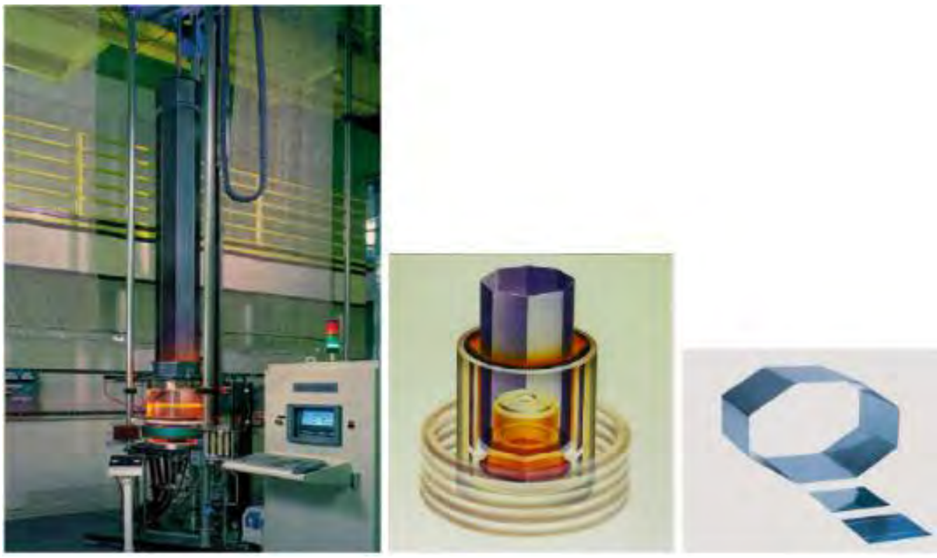
(a) (b)

Gambar 5: (a) Sel Surya Polikristal; (b) Modul Surya Polikristal

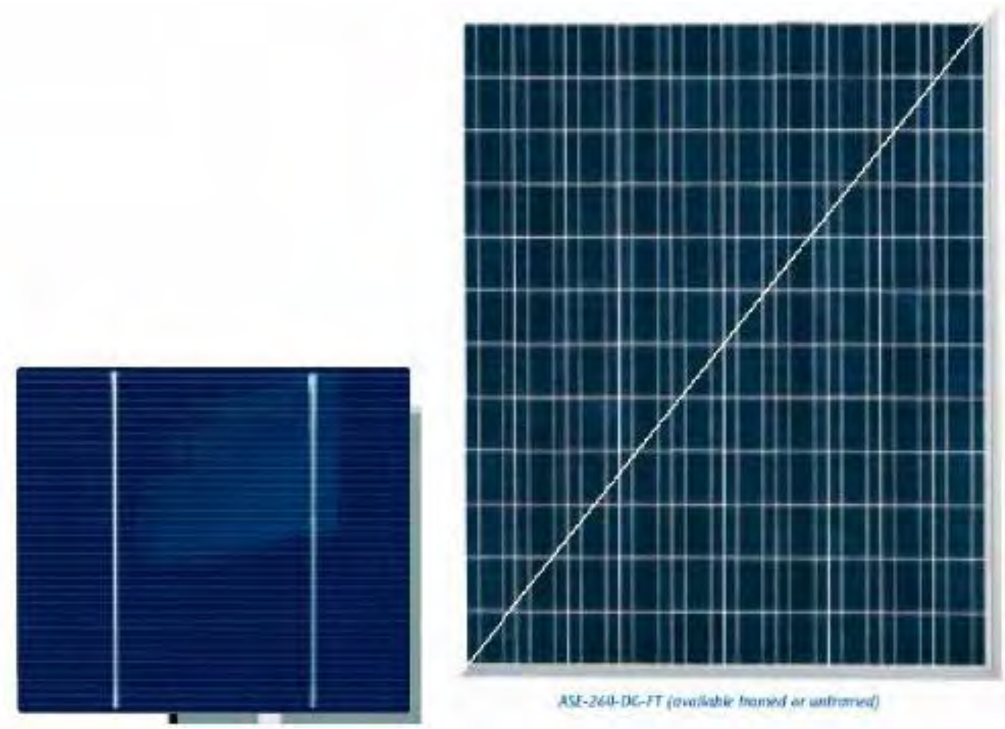
C. Generasi Ketiga, EFG *the Edge Defined Film Growth Ribbon*

Proses ini menumbuhkan wafer Mono Kristal seperti pita langsung dari cairan silikon dengan menggunakan pita kapiler, dapat menghasilkan

dengan lebar 5 – 10cm. Pada proses ini penumbuhan terjadi 5 m/menit dengan ketebalan 250 – 350mikrometer, dengan efisiensi 13%.



Gambar 6: Proses Pembuatan EFG the Edge Defined Film Growth Ribbon[1]



(a) (b)

[1]RWE Schott Solar Germany

Gambar 7: (a) Modul dan (b) Sel Surya Jenis Polikristal dengan Metoda EFG

D. Generasi ke Empat (Thin Film)

Generasi ke-empat Lapisan Tipis atau Thin Film, mempunyai ketebalan sekitar 10mm di atas substrat kaca/steel (baja) atau disebut advanced sel fotovoltaik. Tipe yang paling maju saat ini adalah Amorphous Silicon dengan Heterojuction dengan *stack* atau tandem sel. Efisiensi Sel Amorphous Silicon berkisar 6% sampai dengan 9%.



Gambar 8: Amorphous Silicon dengan Heterojuction dengan Stack atau Tandem Sel

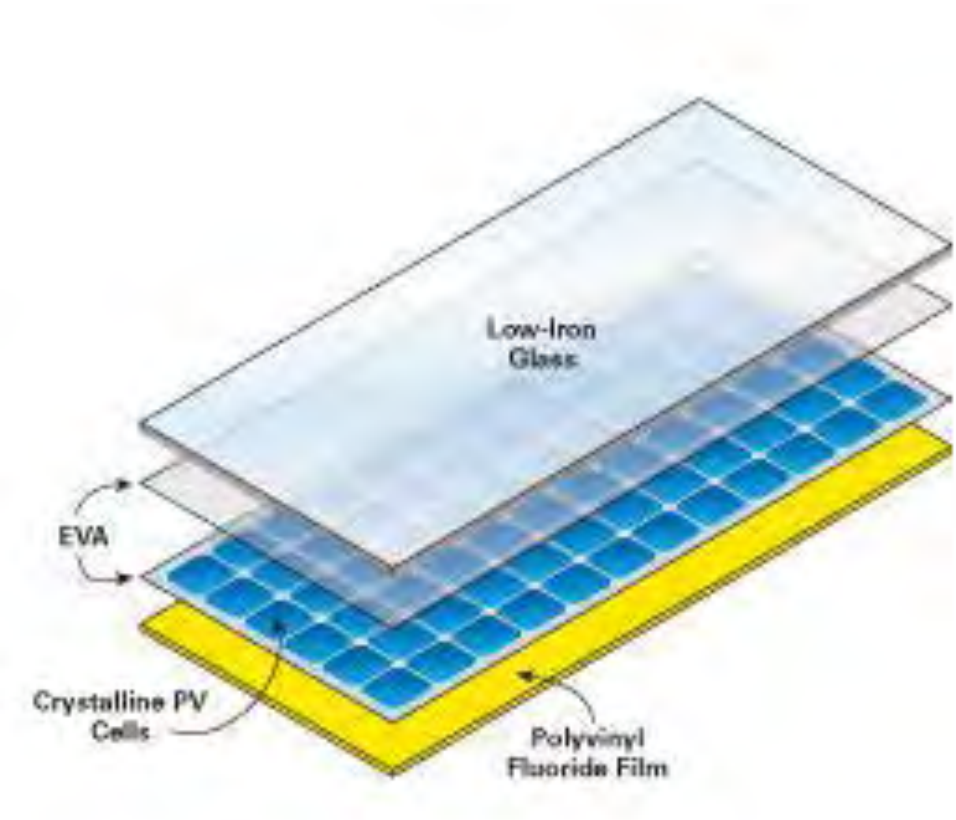
Degradasi dan Masa Kinerja Sel Surya

Pada umumnya modul surya mampu bertahan 20 hingga 25 tahun, khusunya untuk modul mono-crystalline. Modul tipe ini dirancang untuk masa operasi 30 tahun pada saat perancangan dengan acuan kondisi *lab-test*. Sel-sel silikon itu sendiri tidak mengalami kerusakan atau degradasi

bahkan setelah puluhan tahun pemakaian. Namun demikian, output modul akan mengalami penurunan dengan berjalannya waktu. Degradasi ini diakibatkan oleh dua faktor utama:

Rusaknya lapisan atas sel (*ethylene vynil acetate*-EVA) dan lapisan bawah (*polyvinyl fluoride film*) secara perlahan-lahan, serta kerusakan secara alami EVA yang terjadi secara bertahap di antara lapisan gelas dan sel-sel itu sendiri.

Lapisan laminasi modul berfungsi melindungi modul dari uap air akibat kelembaban udara, meskipun tidak mungkin 100% kedap. Lapisan dirancang sedemikian rupa sehingga saat suhu modul naik, uap air yang masuk ke modul akan dikeluarkan kembali melalui peningkatan suhu.



Gambar 9: Konstruksi lapisan modul[2]

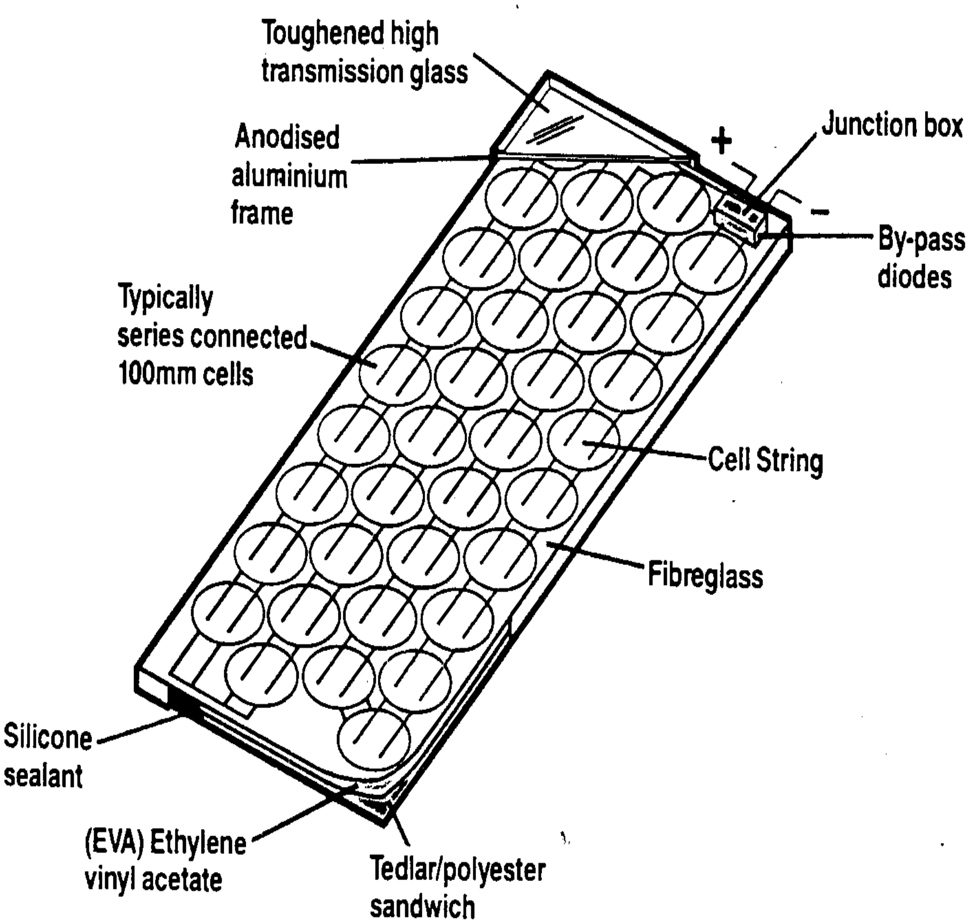
Karena modul terekspos ke sinar matahari secara terus menerus, sinar ultraviolet (UV) mengakibatkan kerusakan materi laminasi secara perlahan, dari yang bersifat elastis menjadi plastik. Lambat laun uap air akan tetap terperangkap di dalam dan menyebabkan korosi pada koneksi sel, yang akan menjadi tahanan bagi koneksi antar sel dan menurunkan tegangan operasi modul. Dan seperti yang telah disebutkan, timbulnya kerusakan alami secara perlahan antara lapisan gelas dan sel-sel silikon menyebabkan berkurangnya sinar matahari yang dapat diserap sel.

7.5. Modul Surya

Hubungan Sel Surya secara Seri dan Paralel

Satu sel surya fotovoltaik memberikan suatu tegangansekitar 0,5V, ini jauh sangat rendah untuk pemakaian. Maka dari itu, sebuah modul fotovoltaik terdiri dari sejumlah sel fotovoltaik, yang dihubungkan secara seri (lihat gambar 14).

Konfigurasi standar adalah 36 atau 40 buah sel fotovoltaik dengan dimensi 10x10cm yang dihubungkan secara seri. Ini berarti bahwa akan terjadi suatu tegangan 18 V, yang cukup untuk mengisi sebuah baterai 12V nominal.



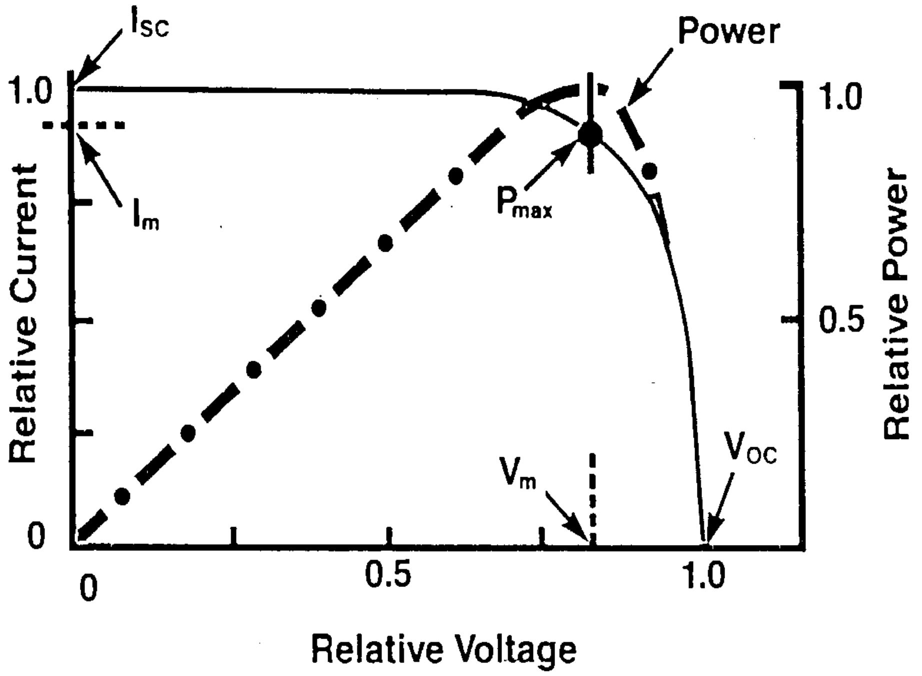
Gambar 10: Konfigurasi sebuah modul fotovoltaik

Sel Fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dibungkus untuk membentuk sebuah kesatuan mekanik. Kesatuan seperti ini dinamakan sebuah modul fotovoltaik. Modul memberikan perlindungan yang layak terhadap pengaruh-pengaruh pengkaratan, hujan dan lain-lainnya.

Modul standar dapat dipergunakan untuk bermacam-macam pemakaian, juga untuk sistem-sistem dengan baterai atau tanpa baterai. Jika suatu aplikasi khusus memerlukan suatu tegangan / arus yang lebih tinggi yang akan dibekali oleh sebuah modul, maka modul dapat digabungkan secara seri, dan membentuk suatu sususnan pararel untuk mendapatkan tegangan atau arus yang dibutuhkan.

Karakteristik Modul Fotovoltaik

Sifat-sifat listrik dari modul fotovoltaik biasanya diwakili oleh karakteristik arus tegangannnya, yang mana disebut juga kurva I-V (lihat gambar 16). Kurva I-V dapat diukur menurut susunan peralatan seperti ditunjukkan dalam gambar 17. Kurva 17 menunjukkan arus yamh diberikan oleh modul fotovoltaik (imod), sebagai suatu fungsi dari tegangan modul fotovoltaik (V_{mod}), pada suatu radiasi spesifik dan temperatur sel spesifik.

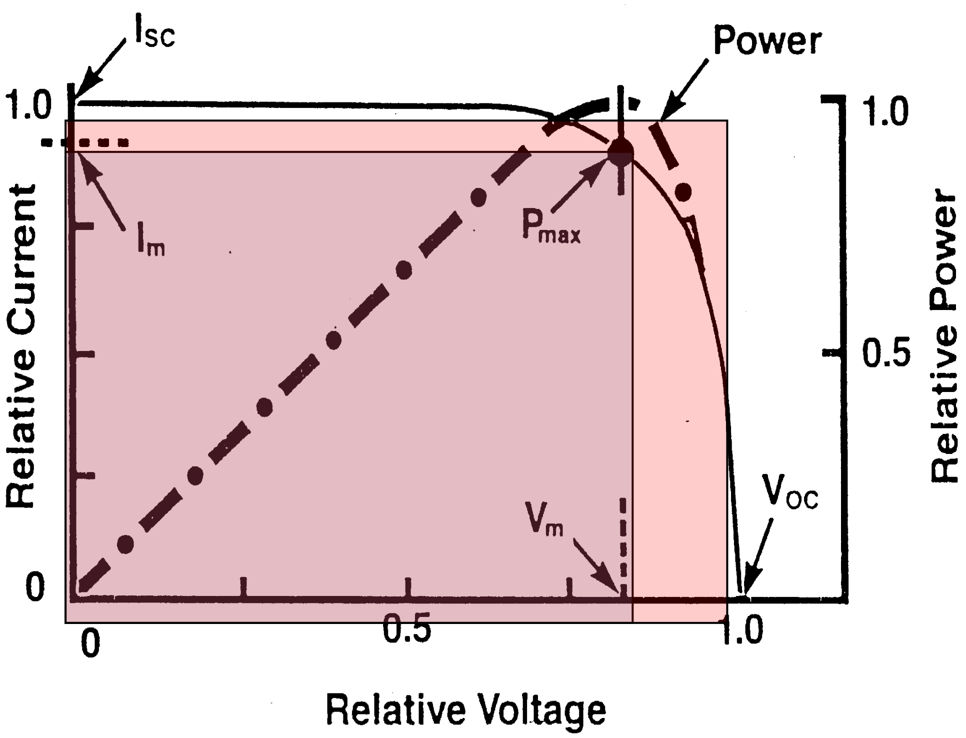


Gambar 11: Kurva Arus-Tegangan dari sebuah mdul surya

Jika sebuah modul fotovoltaik dikenai hubung singkat (V_{mod} = 0), maka arus hubung singkat (I_{sc}) mengalir. Pada keadaan rangkaian terbuka (I_{mod} = 0), maka tegangan modul disebut tegangan terbuka (V_{oc}). Daya yang dihasilkan modul fotovoltaik, adalah sama dengan hasil kali arus dan tegangan yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik :

Rumus 1: Daya puncak yang dihasilkan modul fotovoltaik

$P_{max} = V_m \times I_m$ (lihat gambar 18)



Gambar 12:

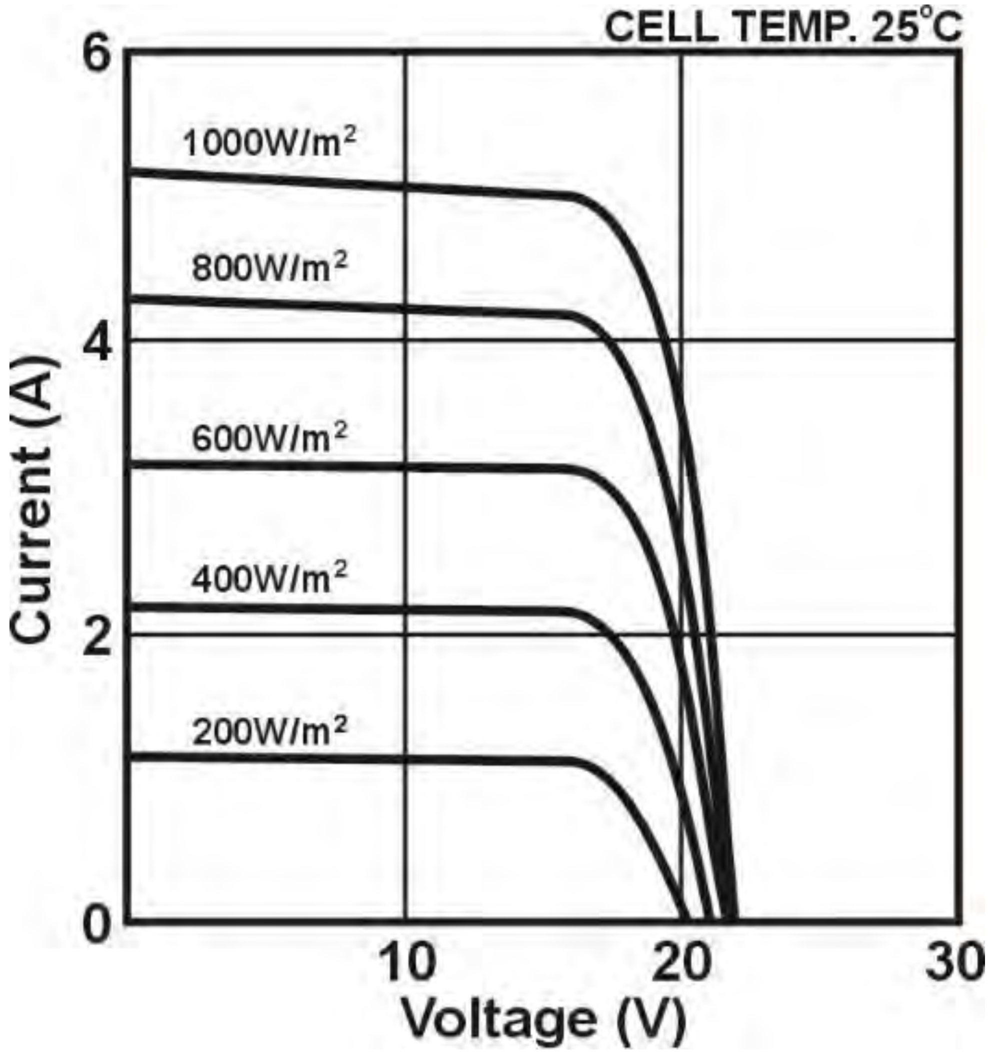
Daya sebagai fungsi dari tegangan modul fotovoltaik dilukiskan dalam kurva I-V

Jika tegangan dari modul ditambah, misalnya dengan menambah tahanan beban dan dimulai dari V_{mod} = 0 (pada kondisi hubung singkat), maka daya dari modul bertambah dari nol sampai ke daya maksimum pada suatu tegangan tertentu.

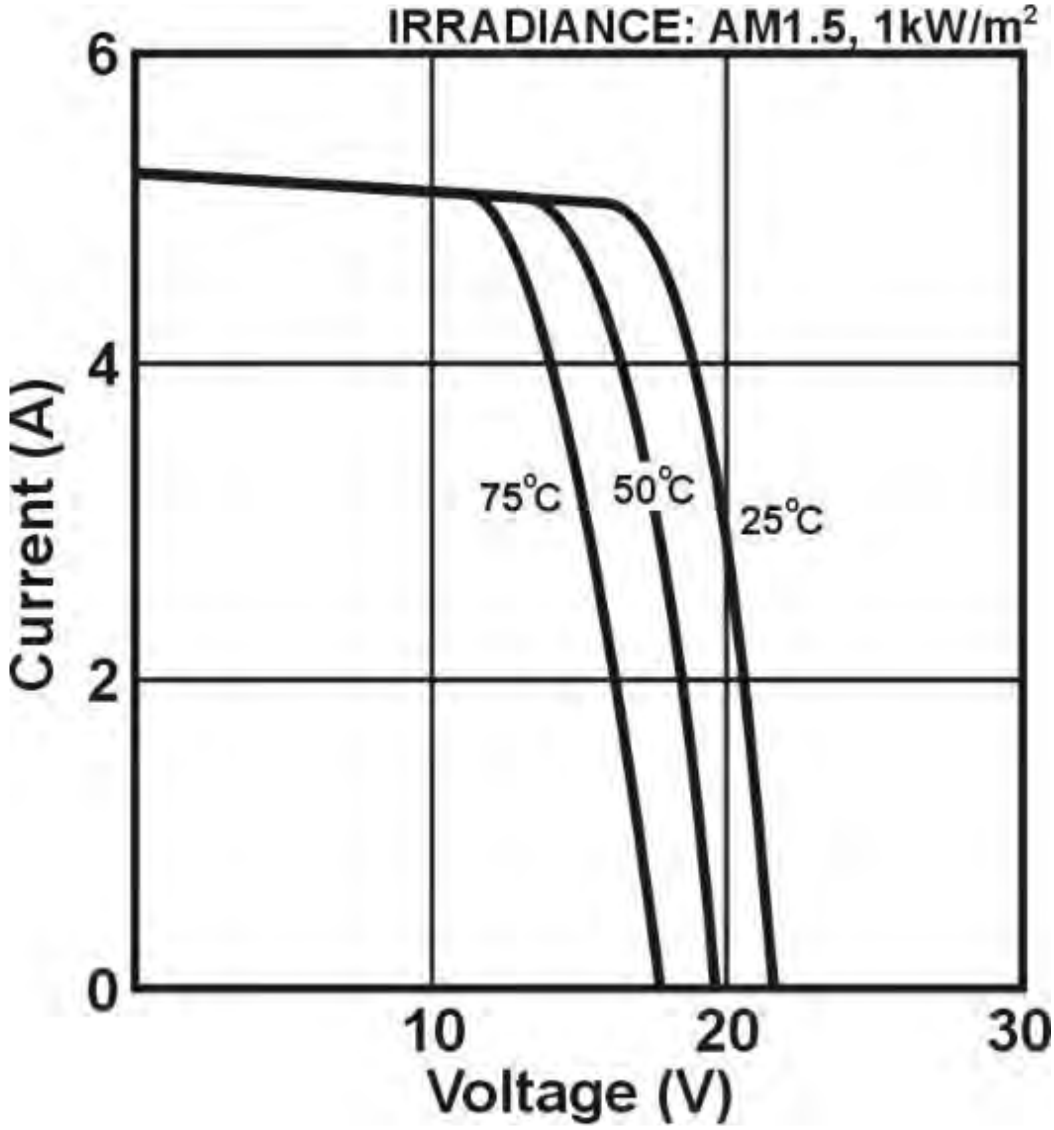
Jika tahanannya masih terus ditambah, setelah daya maksimum dicapai, maka daya brkurang menjadi nol pada tegangan terbuka (V_{oc}). Pada nilai dimana modul memberikan daya maksimumnya disebut nilai daya maksimum, dan dikarakteristikan dengan besaran tegangan nilai daya maksimum (V_{mp}), daya nilai daya maksimum (P_{mp}) dan arus nilai daya maksimum (I_{mp}).

Sebagaimana disebutkan di muka, arus dari modul bergantung antara lain pada tingkat radiasi dan temperatur. Gambar 18 menunjukkan bahwa kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik pada berbagai macam tingkat

radiasi. Kurva-kurva I-V pada berbagai macam temperatur sel ditunjukkan dalam gambar 19.



Gambar 13: Kurva I-V dari sebuah modul fotovoltaik, pada berbagai radiasi matahari



Gambar 14: Kurva I-V dari sebuah modul fotofoltaik, pada berbagai temperatu sel

Tegangan rangkaian terbuka bertambah dengan naiknya temperatur sel. Koefisien penurunan untuk jenis sel kristal berkisar 0,4%/^{0}C.

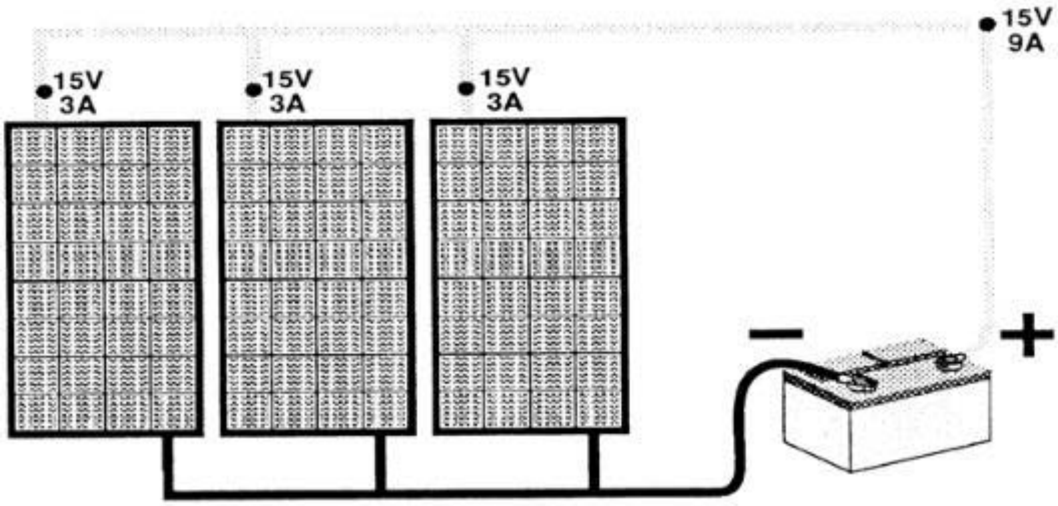
Arus keluaran dari sebuah modul dalam hubungannya dengan sudut kemiringan.

Arus keluaran dari sebuah modul fotovoltaik bergantung pada besarnya radiasi surya yang diterima oleh modul. Keluaran total selama satu hari penuh dapat dihitung secara sederhana dengan mengalikan arus dengan

waktu selama modul itu dikenai sinar matahari. Keluaran modul surya diberikan sebagai ampere jam per hari.
Dengan mengarahkan modul fotovoltaik pada kemiringan tertentu, radiasi surya yang diterima dapat dioptimalkan untuk suatu kurun waktu satu tahun. Yang selanjutnya hal ini akan memperbesar keluaran tahunan rata-rata modul fotovoltaik. Secara umum, kemiringan modul disesuaikan dengan posisi lintang lokasi penempatan.

Array atau Rangkaian Modul Surya
Sistem-sistem fotovoltaik atau lebih dikenal dengan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dibuat berdasarkan kebutuhan catu daya dan sistem tegangan yang diinginkan oleh beban. Untuk membuat rangkaian modul surya dilakukan dengan cara menghubungkan modul surya secara seri dan paralel.

Hubungan Paralel Modul Surya
Untuk mendapatkan arus listrik yang lebih besar dari pada keluaran arus listrik dari setiap modul surya, maka modul surya dihubungkan secara parallel, dengan cara menghubungkan kutub-kutub yang sama (kutub negatif saling dihubungkan dan kutub positif juga saling dihubungkan), seperti terlihat pada gambar 22.
Apabila masing-masing modul surya mempunyai tegangan kerja 15 Volt dan menghasilkan arus listrik sebesar masing-masing 3 Amper, kemudian ketiganya dihubungkan secara parallel maka akan didapatkan arus listrik total sebesar 9 Ampere sedangkan tegangan total akan sama dengan tegangan masing-masing modul surya yaitu 15 Volt.

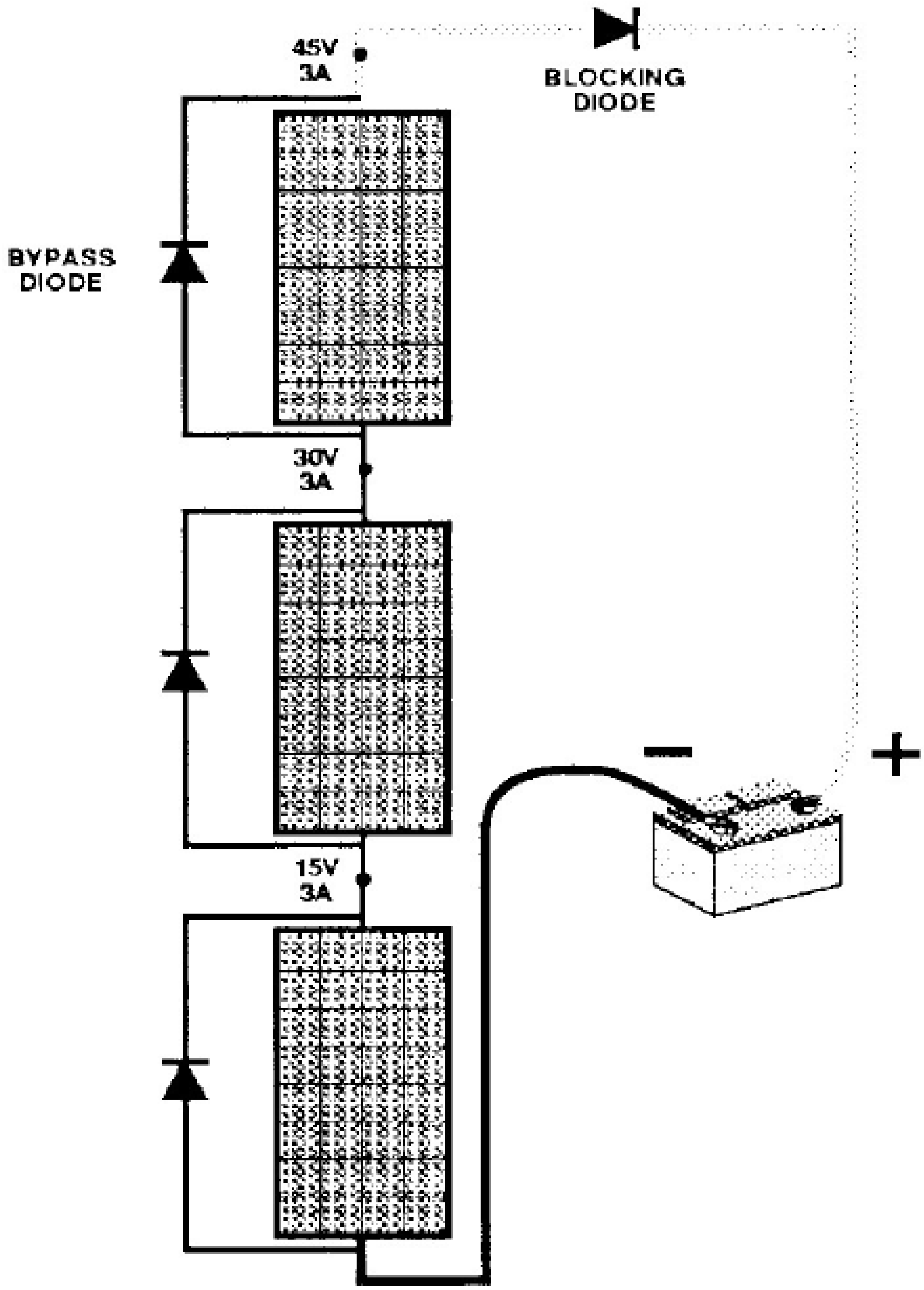


Gambar 15: Tiga buah modul surya duhubungkan secara paralel[3]

Hubungan Seri Modul Surya

Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan modul surya dihubungkan secara seri yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif seperti terlihat pada gambar 23.

Tegangan total yang didapatkan dengan cara menghubungkan seri tiga buah modul masing–masing mempunyai tegangan 5 Volt adalah merupakan jumlah yaitu 15 Volt, tetapi arus listrik total yang dihasilkan adalah sama dengan masing arus setiap modul yaitu 3 Ampere.

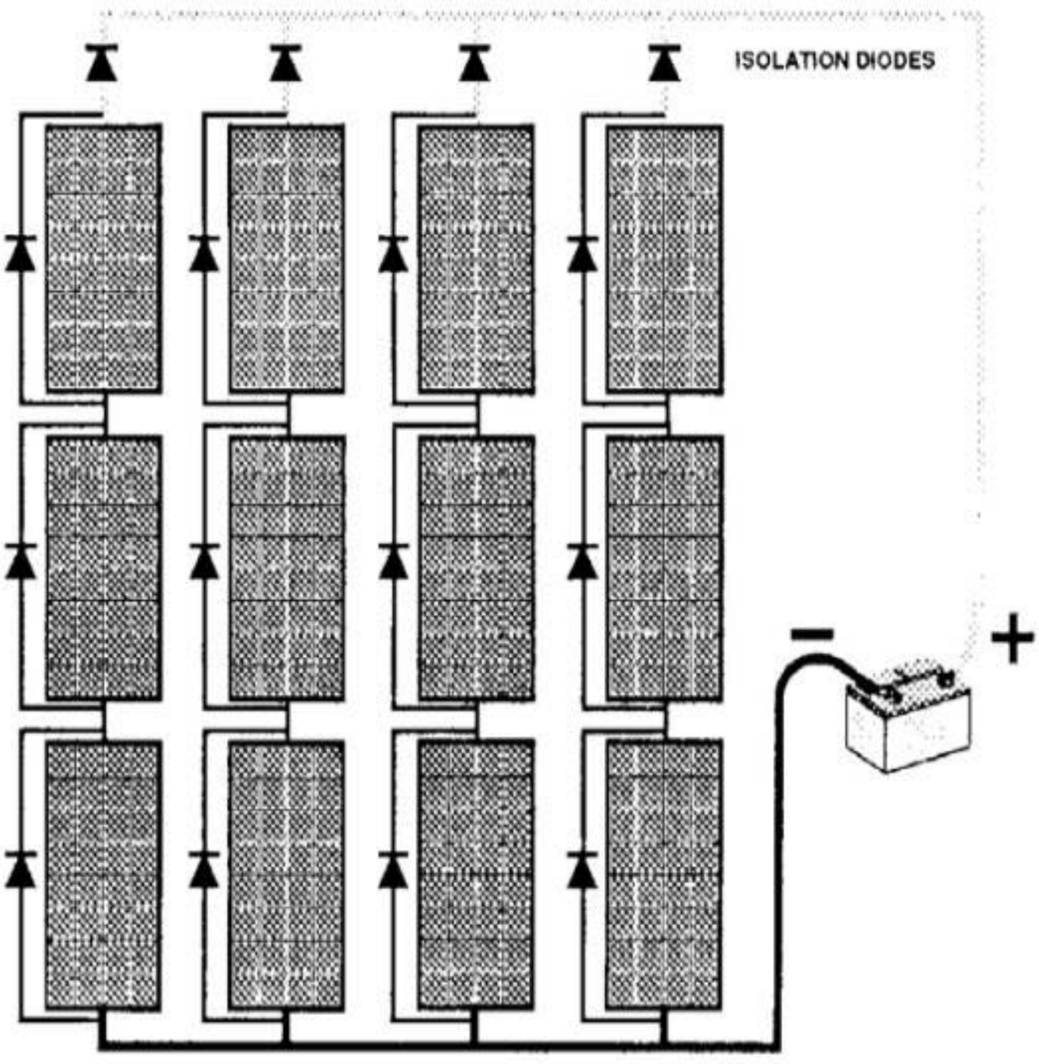


Gambar 16: Tiga buah modul surya dihubungkan secara seri[4]

Hubungan Seri-Paralel Modul Surya

Untuk mencatu daya sistem-sistem PLTS yang diinginkan, maka perlu untuk menggabungkan sejumlah modul surya secara seri maupun parallel seperti terlihat pada gambar 24. Pada gambar terlihat bahwa array atau rangkaian modul surya untuk menacatu daya sistem terdiri dari 3 buah modul surya yang dihubungkan secara seri dan 4 buah modul surya yang dihubungkan secara paralel.

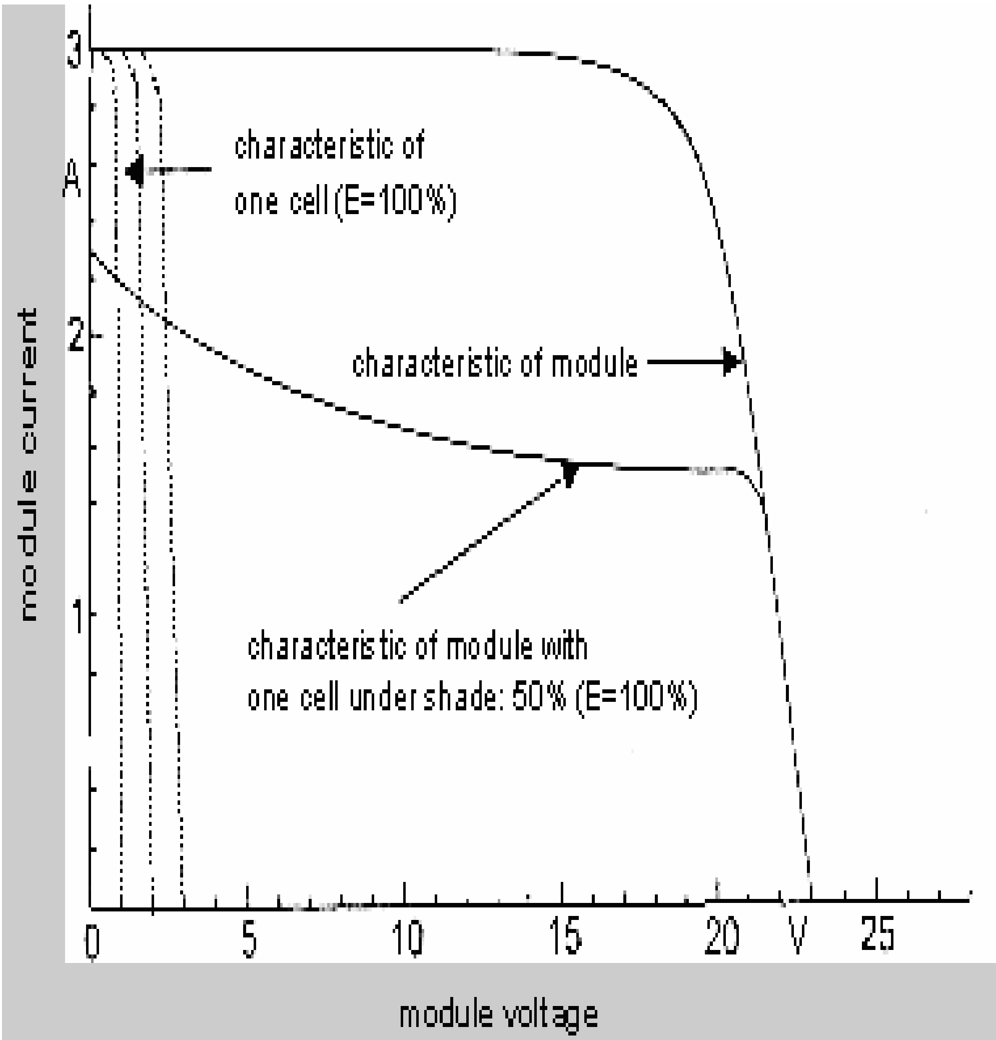
Tegangan kerja sistem tersebut adalah 15 Volt dan arus listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 12 Ampere.



Gambar 17: Array atau Rangkaian Modul Surya

Efek bayangan (*Shading Effect*)

Keluaran listrik yang dibangkitkan sel surya juga bergantung pada efek bayangan atau shaing effect, yaitu kemungkinan terhalanginya modul surya akibat bayangan suatu benda yang mengakibatkan berkurangnya sinar matahari yang dapat diterima oleh modul.



Gambar 18: Karakteristik Arus-Tegangan akibat *shading effect*

Problem yang umum timbul akibat efek bayangan antara lain:

- Berkurangnya luasan daya dari keluaran daya nominal, karena insolasi berkurang sehingga *photo-current* dari matahari pun berkurang. Arus tiap sel menurun, karena sel disusun secara seri.

- Stress akibat panas yang tidak merata pada permukaan modul akan meningkatkan suhu pada sel secara dramatis, sehingga timbul *overheating* pada sel-sel tertentu.

Gambar 25 mengilustrasikan berkurangnya luasan keluaran daya akibat efek bayangan sebagai rugi-rugi sebesar 50% terhadap keluaran daya nominal 100%.

Hot-Spot

Hotspot atau efek *hotspot* adalah suatu akibat dari pembuangan energi karena suatu kondisi dimana salah satu sel didalam suatu modul fotovoltaik diteduhi oleh suatu benda sehingga tidak mendapatkan pencahayaan matahari. Effek ini dapat merusak sel fotovoltaik dengan hebat. Efek ini biasanya menciptakan suatu bekas berupa area berwarna putih pada sel fotovoltaik.

Sebagian atau seluruh energi, yang dibangkitkan oleh sel-sel yang diterangi oleh sinar matahari akan dibuang berupa panas yang tinggi pada sel-sel yang diteduhi atau tidak mendapatkan sinar matahari.

Agar mencegah sel-sel fotovoltaik dirusak oleh efek hotspot, maka dioda by-pass dihubungkan secara parallel dengan sejumlah sel-sel fotovoltaik yang dihubungkan secara seri, sedemikian sehingga hanya sebagian energi yang dibangkitkan modul fotovoltaik akan dibuang di dalam sel-sel fotovoltaik yang diteduhi tersebut.

7.6. Alat Pengatur Baterai

Sebagaimana telah dijelaskan pada perancangan sistem Fotovoltaik bahwa didalamnyaterdapat suatu komponen penting yang sering disebut dengan berbagai nama, antara lain: BCU (*battery control unit*), BCR (*battery charge regulator*) atau SCR (*solar charge coltroller*), yang intinya adalah untuk mengamankan baterai. Istilah BCR akan digunakan didalam dokumen ini.

BCR didisain dengan menggunakan komponen elektronik, oleh karena itu disini juga dikemukakan beberapa komponen elektronik utama yang digunakan pada BCR tersebut. Pada sistem Fotovoltaik (atau yang dikenal dengan istilah PLTS = Pembangkit Listrik Tenaga Surya) berskala besar, BCR merupakan suatu Kontrol Panel yang didalamnya terdapat pusat pengkabelan (*wiring*) sistem, BCR itu sendiri yang kemungkinan juga diperlengkapi dengan „*hardware*‟ untuk managemen energi, inverter dan beberapa fungsi lain seperti proteksi sistem, indikator dan kadang-kadang pencatatan data (*recording*) sistem.

Untuk PLTS berskala kecil, BCR dapat berbentuk suatu kotak, yang tentunya tetap mempunyai fungsi yang sama yang diperlukan pada sistem tersebut.

Jenis-jenis BCR diklasifikasikan terhadap bagaimana cara pemutusan hubungan anatara Fotovoltaik dengan Baterai, yaitu yang dikenal sebagai pemutusan terhadap tegangan batas atas (*end-of charge*) dari suatu baterai.

Fungsi BCR

Fungsi BCR antara lain:

- Mengatur transfer energi dari modul PV --> baterai --> beban, secara efisien dan semaksimal mungkin;
- mencegah baterai dari :
  - → *Overcharge* : pemutusan pengisian (*charging*) baterai pada tegangan batas atas, untuk menghindari „*gasing*‟, yang dapat menyebabkan penguapan air baterai dan korosi pada grid baterai;
  - → *Underdischarge* : pemutusan pengosongan (*discharging*) baterai pada tegangan batas bawah, untuk menghindari pembebanan berlebih yang dapat menyebabkan sulfasi baterai;

- membatasi daerah tegangan kerja baterai;
- menjaga/memperpanjang umur baterai;
- mencegah beban berlebih dan hubung singkat;
- melindungi dari kesalahan polaritas terbalik;
- memberikan informasi kondisi sistem pada pemakai.

Overcharge

Overcharge adalah suatu pengisian (*charging*) arus listrik kedalam baterai (*Accu*) secara berlebihan. Apabila pengisian dilakukan dengan alat *charger* (charging Accu) yang biasa dikenal dipasaran, maka pengisian akan berhenti sendirijika arus dari *„charging accu"* sudah mencapai angka nol (tidak ada arus pengisian lagi), dimana ini berarti baterai sudah penuh.

Pengisian arus listrik dengan Fotovoltaik (PV) kedalam baterai tidak sama dengan *„charging accu"* tersebut, hal ini disebabkan karena arus listrik yang dihasilkan Fotovoltaikbisa besar, bisa juga kecil tergantungdari radiasi matahari dan pengisian ini terus berlangsung selama ada radiasi matahari, tidak mau tahu apakah baterai tersebut sudah penuh atau belum. Oleh karena itu perlu alat untuk menghentikan pengisian arus listrik kedalam baterai, jika baterai sudah mencapai kondisi penuh.

Alat ini dalam Sistem Fotovoltaik kita kenal sebagaiBCR. Contoh lain yang mempunyai fungsi sama dengan BCR ataupun *„charging accu"* ini, yaitu pada kendaraan bermotor (mobil atau motor) dimana alat ini dikenal sebagai *"Cut-Out"*atau dalam istilah pasaran atau bengkel mobil dikenal sebagai "Ket-Ot".

Pemutusan arus pengisian baterai dilakukan pada saat baterai telah terisi penuh. Hal ini dapat dipantau (diketahui) melalui pengukuran tegangan baterai, yaitu baterai dikatakan penuh, jika tegangan baterai (untuk sistem 12V) telah mencapai sekitar antara 13,8 s/d 14,5 volt (tergantung dari jenis baterai dan kebutuhan sistem) dan

baterai akan *"gasing"* (mengeluarkan gelembung-gelembung gas), jika tegangan baterai telah mencapai sekitar antara 14,5 s/d 15,0 volt. Oleh karena itu apabila tegangan baterai teleh mencapai sekitar 13,8 – 14,5 volt, maka pengisian arus listrik tersebut harus segera diputuskan.

Untuk kondisi tertentu (yaitu untuk keperluan "ekualisasi"), baterai dapat diputuskan pengisiannya, jika tegangan baterai telah mencapai sekitar 14,5 – 15,0 Volt.

Pemutusan arus pengisian pada umumnya dilakukan secara elektronik oleh alat atau sistem kontrol BCR yang secara otomatis akan memutuskan pengisian arus listrik, jika baterai telah mencapai tegangan untuk kondisi penuh tersebut.

Pemutusan arus ini adalah untuk mencegah agar apabila baterai terlalu sering mencapai kondisi *"gassing"* akan menyebabkan penguapan air baterai dan korosi (karatan) pada grid baterai.

Underdischarge

*Underdischarge*adalah pengeluaran (pelepasan) arus listrik dari baterai secara berlebihan sehingga baterai menjadi kosong sama sekali (habis ampernya). Dapat dijelaskan lebih jauh disini yaitu BCR pada sistem Fotovoltaik, berbeda dengan *"Cut-Out"* yang ada pada mobil atau motor dimana disini *"Cut-Out"* tidak mempunyai sistem atau kontrol untuk menghentikan/memutuskan pengeluaran arus yang terus menerus apabila baterai telah mencapai kondisi minimum (kosong), hal ini dapat dimengerti tentunya karena apabila mobil tersebut bergerak/hidup, maka akan selalu terjadi pengisian arus listrik kedalam baterai oleh"Dynamo-Amper", sehingga baterai tidak pernah kosong, sekalipun baterai dipakai untuk menyalakan lampu, A/C, tape-radio, dll; asal "dynamo-amper" tersebut tidak rusak/berfungsi dengan baik dan baterainya-pun tidak lemah (tidak "Swak" dalam istilah bengkel mobil). Sedangkan dalam sistem

Fotovoltaik, dimana tentunya tidak ada “dynamoamper” danhanya tergantung dari radiasi matahari, maka apabila baterai tersebut dipakai terus menerus untuk menyalakan beban (lampu, tape-radio, dll) terutama pada malam hari, maka hal ini akan menyebabkan baterai berangsur-angsur mulai menuju kosong dan apabila tidak ada penambahan arus listrik kedalam baterai tersebut. Juga, jika pemakaian beban cukup besar dan terus menerus atau tidak dibatasi, maka baterai akan menjadi kosong sama sekali (habis ampernya). Kondisi ini disebut sebagai *“underdischarge”*. Untuk mencegah terjadinya *“underdischarge”*, maka digunakan alat atau sistem kontrol elektronik pada BCR yang secara otomatis akan memutuskan atau menghentikan pengeluaran arus listrik dari baterai tersebut.

Hal ini dapat dipantau/diketahui dari tegangan baterai, yaitu baterai akan mencapai kondisi minimum (hampir kosong Ampernya), jika tegangan baterai telah mencapai sekitar11,4 s/d 11,7 volt. Oleh karena itu apabila tegangan baterai teleh mencapai sekitar 11,4 – 11,7 volt, maka penggunaan arus listrik dari baterai harus dihentikan atau hubungan beban ke baterai harus segera diputuskan.

Hal ini adalah untuk mencegah apabila baterai terlalu sering mencapai kondisikosong akan menyebabkan sulfasi baterai sehingga baterai akan cepat menjadi rusak.

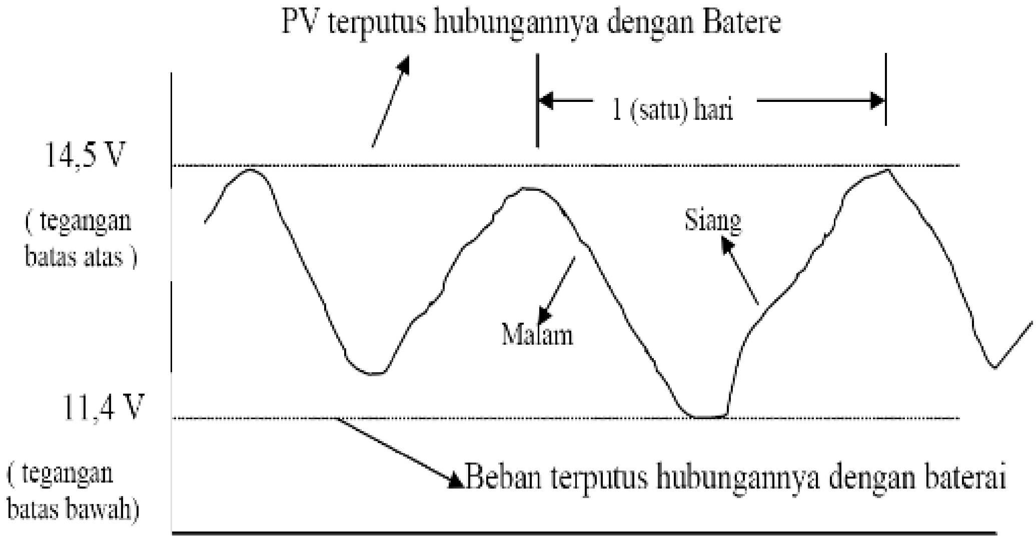
Daerah tegangan kerja baterai

Daerah tegangan kerja baterai adalah daerah tegangan dimana sistem Fotovoltaik masih mampu menyalakan beban. Untuk Sistem tegangan 12 volt, maka daerah tegangan kerja baterai adalah antara 11,4 volt - 14,5 volt.

Biasanya dalam pemakaian sehari-hari harus diusahakan agar pemakaian beban jangan sampai menyebabkan tenganan baterai mencapai 11,4 Volt, karena apabila mencapai titik tegangan tersebut,

beban akan segera dimatikan secara otomatis. Untuk pemakaian beban sehari-hari sebaiknya lihat contoh cara pemakaian beban seperti yang disajikan pada perancangan sistem.

Adapun grafik turun dan naik tegangan baterai terhadap pemakaian beban dan pengisian arus listrik melalui Fotovoltaik dapat digambarkan seperti gambar 26.



Gambar 19: Grafik tegangan baterai terhadap pemakaian beban dan pengisian arus listrik melalui fotovoltaik

Beban Berlebih dan Hubung Singkat

Beban berlebih adalah suatu pemakaian beban yang melebihi kapasitas maksimum output BCR. Sebagai contoh, jika kapasitas maksimum output BCR adalah 10 amper, maka apabila pemakaian bebanmelebihi 10 amper, dikatakanbeban berlebih, dan biasanya BCR mempunyai proteksi/pencegahan yang secara otomatis akan memutuskan beban, jika terjadi adanya beban berlebih tersebut.

Hubung singkat terjadi akibat adanya hubungan langsung antara polaritas positip (+) dengan polaritas negatip (-) dari suatu sumber tegangan. Dalamhal ini terminal positip beban (beban +) dan terminal negatip beban (beban -) pada BCR juga merupakan suatu sumber tegangan yang akan mensuplai daya listrik ke beban.

Kemungkinan hubung singkat tersebut dapat saja terjadi akibat terhubungnya terminal positip dan negatip beban pada BCR melalui suatu benda logam yang bersifat sebagai konduktor, misalnya obeng, kawat konduktor, kunci pas, dll; atau mungkin juga terjadi hubungan langsung antara kabel positip dengan kebel negatip pada kabel yang menuju beban (ujung-ujung kabel tersebut tersambung langsung).
Pada kondisi hubung singkat ini terjadi arus yang sangat besar, maka apabila BCR tidak dilindungi dengan proteksi hubung singkat, tentunya akan terjadi kerusakan pada komponen elektronik yang ada didalam BCR tersebut.
Untuk sistem yang sederhana perlindungan hubung singkat ini dapat dilakukan dengan menggunakan sikring pengaman (*fuse*), tetapi untuk sistem yang di dalamnya terdapat komponen elektronik yang sensitif sekali terhadap pengaruh arus hubung singkat, maka diperlukan suatu rangkaian elektronik khusus yang mampu memberi perlindungan terhadap terjadinya hubung singkat.
Pada umumnya rangkain elektronik untuk proteksi hubung singkat ini adalah sama dengan rangkaian elektronik untuk proteksi arus beban lebih.
Untuk BCR yang mempunyai kapasitas arus output maksimum yang cukup besar, kejadian hubung singkat harus dihindari secepat mungkin, karena apabila hubung singkat ini kejadiannya cukup lama, maka ada kemungkinan komponen elektronik yang ada didalam BCR rusak juga.

Polaritas terbalik

Polaritas terbalik dapat terjadi pada :

1. Terbaliknya hubungan antara PV dengan BCR.
2. Terbaliknya hubungan antara Baterai dengan BCR.
3. Terbaliknya hubungan antara BCR dengan beban.

BCR yang ber-mutu baik, akan mempunyai perlindungan terhadap kerusakan BCR akaibat terjadinya polaritas terbalik untuk hubungan PV-BCR (Point 1) dan polaritasterbalik untuk hubungan Baterai–BCR (Point 2),*sedangkan untuk hubungan BCR–Beban, proteksi polaritas terbaliknya berada pada beban yang bersangkutan.*

Perlindungan terhadap polaritas terbalik untuk hubungan PV – BCR adalah dilakukan dengan memebrikan suatu *"Blocking-Diode",*yang sekaligus merupakan pencegahan arus balik (*"reverse current"*) dari baterai menuju PV, sedangkan perlindungan polaritas terbalik untuk hubungan Baterai–BCR, harus dilengkapi dengan beberapa tambahan komponen atau rangkaian elektronik.

Pemberian Informasi Kondisi Sistem ke Pemakai

Informasi kondisi sistem yang diberikan kepada pemakai dapat berupa suara yaitu seperti misalnyasuara Alarm atau suatunyala Lampu seperti yang kita kenal pada BCR yaitu lampu LED (*Light Emitting Diode*). Informasi ini diberikan untuk memberiperingatan atau pemberitahuan kepada pemakai bahwa sistem berada di luar kondisioperasi; sistem berada dalam kondisi operasi ataupun sistem berada dalam kondisi*"emergency"*.

Kriteria Penting BCR

Kriteria yang penting perlu diperhatikan untuk pemilihan BCR antara lain adalah:

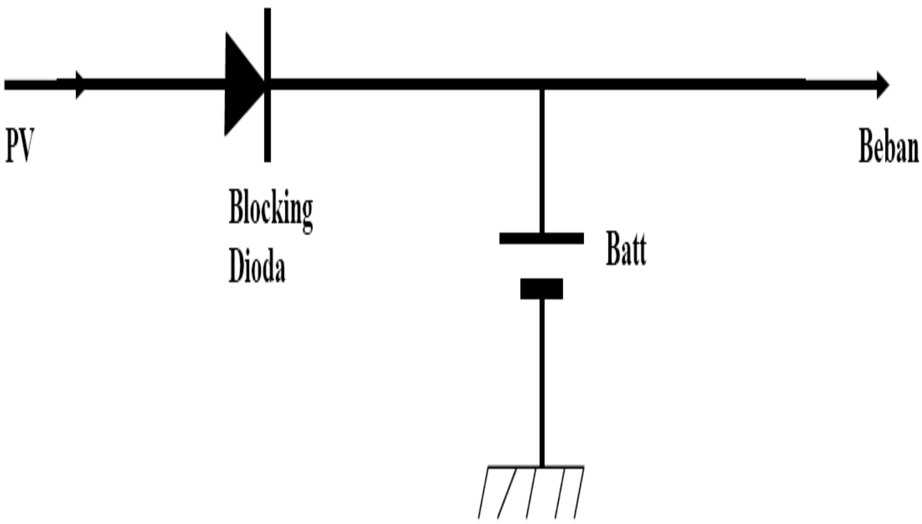
- Fungsi pengaman dan kinerjanya terpenuhi;
- handal (tidak mudah rusak);
- pabrikasi sederhana; serta
- harga yang memadai.

Tipe BCR

Tipe-tipe BCR diklasifikasikan berdasarkan cara pemutusan hubungan antara PV dengan baterai, antara lain sebagai berikut:

- Direct Connection
- On - Off Regulation :
    - Seri
    - Paralel
    - PWM (*Pulse Width Modulation*)
- Two-step Regulation
- Multistep
- MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Direct Connection



Gambar 20: Rangkaian BCR tipe *Direct Connection*

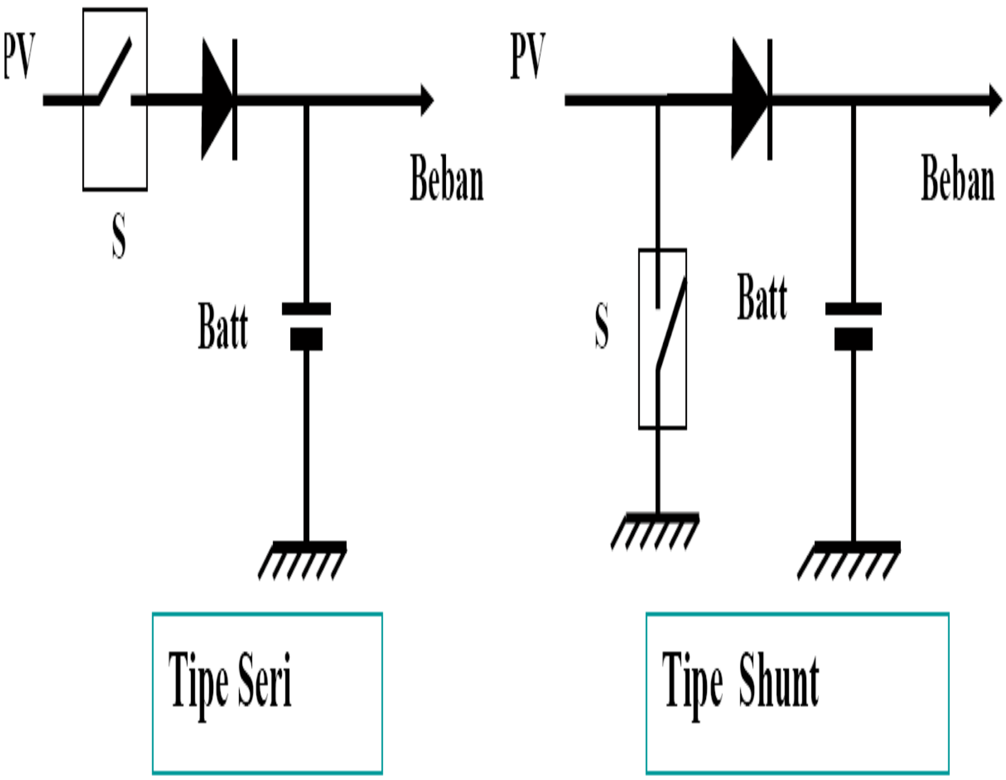
Pada tipe ini fotovoltaik terhubung langsung atau tidak menggunakan saklar pemutus pada tegangan batas atas. Untuk mencegah arus balik dari baterai ke PV, dipasang *„Blocking Diode"*. Kemudian, untuk mencegah terjadinya overcharge, kapasitas PV, baterai, dan pemakaian energi beban harus dihitung dengan tepat, sehingga

tegangan kerja PV sesuai atau *„match"* dengan daerah tegangan kerja baterai.

Tegangan terbuka modul PV (V_{oc}) harus didisain sedemikian rupa sehingga pada saat baterai penuh, tegangan output PV hampir sama dengan tegangan baterai penuh. Biasanya V_{oc} = 16,5 volt (1 modul terdiri dari 33 sel PV yang diseri). Tipe ini tergolong sederhana dan ekonomis.

Tipe ini hanya sesuai untuk lokasi yang temperaturnya tidak terlalu bervariasi, sehingga tegangan maksimum PV relatif konstan.

On-Off Regulator

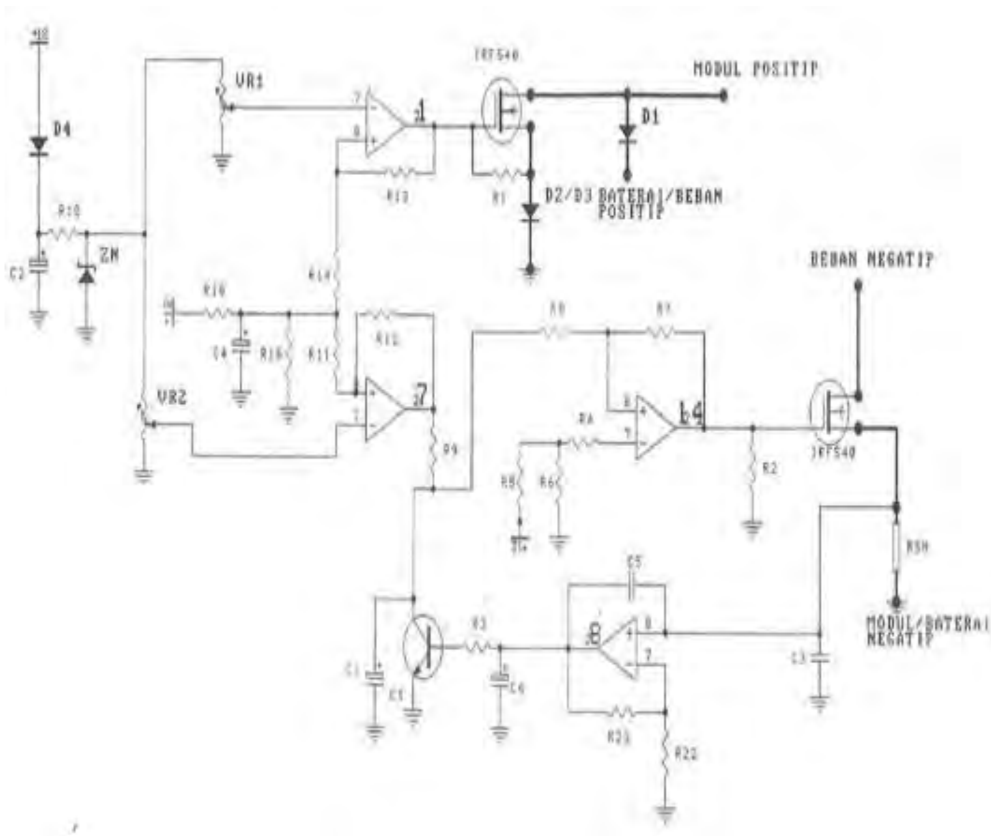


Gambar 21: Rangkaian BCR tipe On-Off Regulator

Hubungan PV dengan baterai akan terputus pada saat tegangan baterai telah mencapai batas atas, misalnya pada 14,2 volt.

Untuk tipe seri, pada saat „*cut-off*", I_{pv} = 0 dan V_{pv} = V_{oc} (saklar S terbuka). Sedangkan untuk tipe parallel, pada saat „*cut-off*", I_{pv} = I_{sc} dan V_{pv} = 0 (saklar S tertutup).

Pabrikasi tipe On-Off Regulator ini tergolong tidak terlalu rumit serta cukup handal apabila rancangan dan pabrikasinya baik. Tipe ini paling banyak dipasarkan.



Gambar 22: Rangkaian BCR tipe shunt

Two-Step Regulation

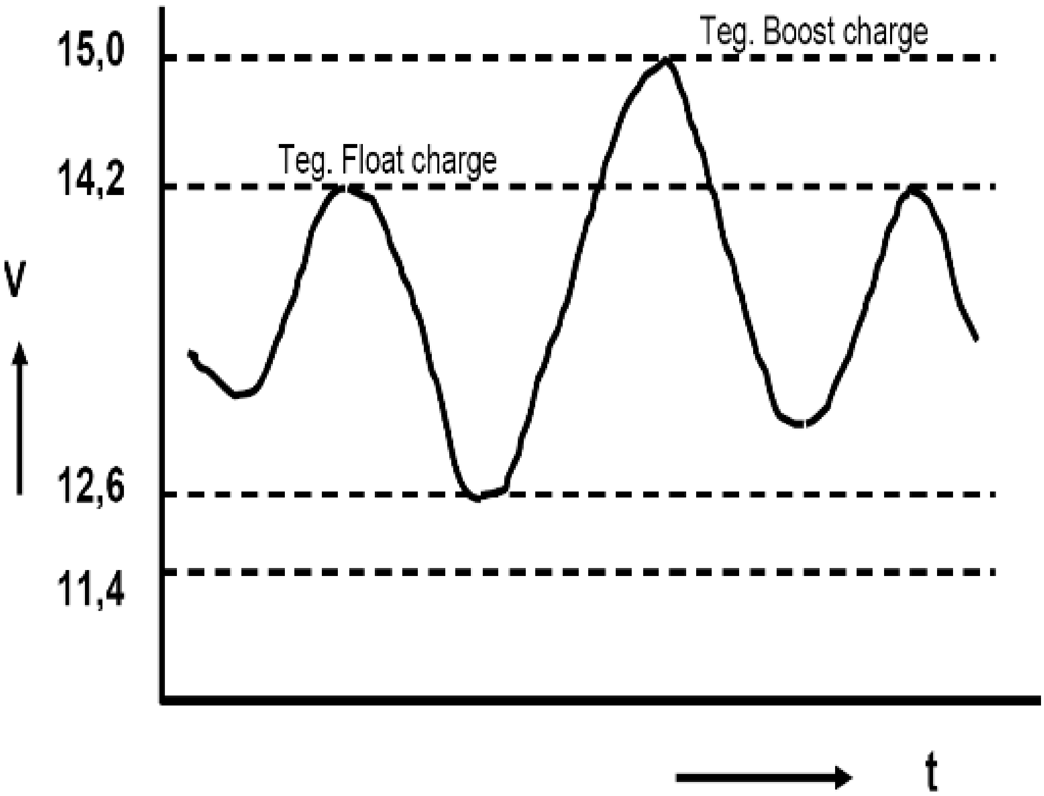
Blok diagram rangkaian dasar two-step regulation sama dengan blok diagram dari *On-Off Regulation.*Namun terdapat perbedaan prinsip kerja terhadap buka – tutup nya Saklar S. Apabila tegangan baterai pada saat belummencapai tegangan dimana kapasitas baterai minimum, yaitu tegangan baterai masih lebih besar dari 11,4 volt (V_{bat}> 11,4 volt) lalu baterai kembali diisi (di-charge) oleh fotovoltaik,

maka pengisian hanya berlangsung sampai kapasitas baterai penuh(misalnya V_{bat} = 14,2V). Tegangan ini sekarang disebut sebagai tegangan *"Floating"* atau tegangan batas atas "normal".

Tetapi apabila tegangan baterai, karena suatu hal terus turun, mencapai limit tegangan baterai minimum yaitu V_{bat} = 11,4 Volt, maka pengisian baterai harus dilakukan sampai tegangan baterai mencapai tegangan "*gassing*" (yaitu misalnya V_{bat} = 15 volt).

Batas tegangan baterai dimana pada saat pengisian kembali baterai menuju tegangan baterai "*gassing*", tidak selalu harus menunggu sampai kapasitas baterai minimum. Pada beberapa BCR tegangan tersebut di-set sedikit lebih besar, yaitu sekitar 12,6 volt.

Contoh kejadian tegangan baterai pada kondisi *"charge-discharge"* untuk BCR jenis two-step regulation ini adalah seperti pada gambar dibawah ini. Di sini tegangan picu atau tegangan trigger baterai dimana baterai akan menuju pengisian sampai gasing di-set = 12,6 volt.



Gambar 23: Tegangan baterai saat kondisi *Charge-Discharge* BCR tipe Two-Step Regulation

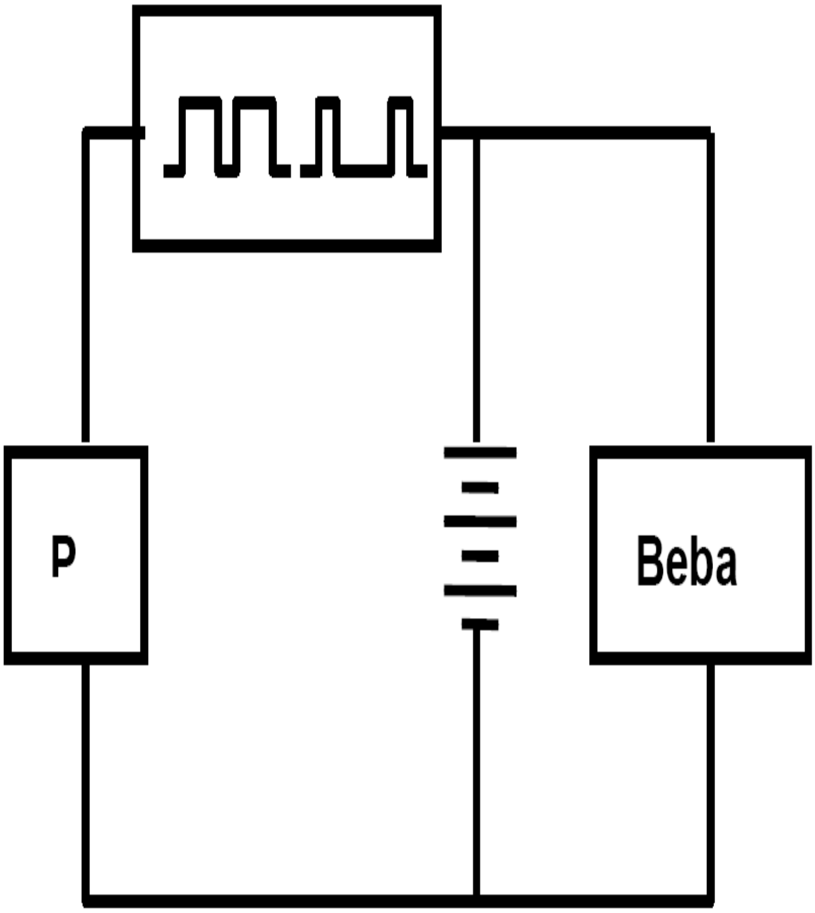
Multistep Regulator

Tipe BCR ini menghubungkan/memutuskan PV array sedikit demi sedikit (satu string untuk setiap tahap) sesuai dengan kondisi baterai. Umumnya pemutusan/penghubungan PV dengan baterai dilakukan secara seri.

Proses pengisian mendekati kondisi yang ideal karena besarnya arus pengisian dapat diatur dari kondisi paling minimal (semua *switch* terbuka) hingga pengisian maksimal (semua *switch* tertutup).

Hanya sesuai untuk sistem PLTS berkapasitas besar yang terdiri dari dari banyak modul.

Disain dasar PWM



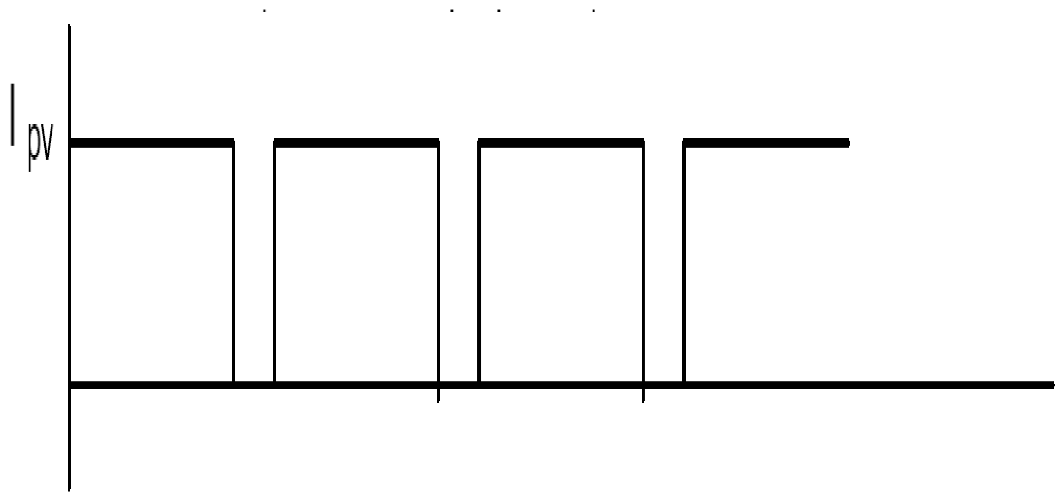
Gambar 24: Rangkaian PWM pada BCR

Pada saat baterai hampir penuh, terjadi pengisian (*charging*) yang terputus-putus atau dikenal dengan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*). Proses pengisian baterai mendekati kondisi ideal, karena besar kecilnya arus pada saat pada saat baterai akan penuh diatur oleh lebar pulsa "on".

Rangkaian BCR tipe ini lebih rumit, terutama karena PWM harus didisain sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan interferensi pada gelombang radio.

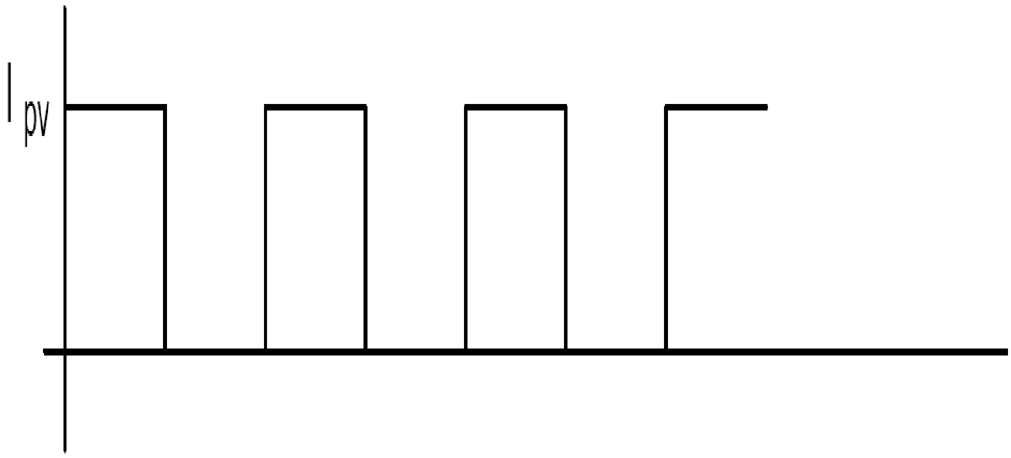
Bentuk- bentuk arus pengisian dengan PWM

a) PWM mulai start (baterai hampir penuh)



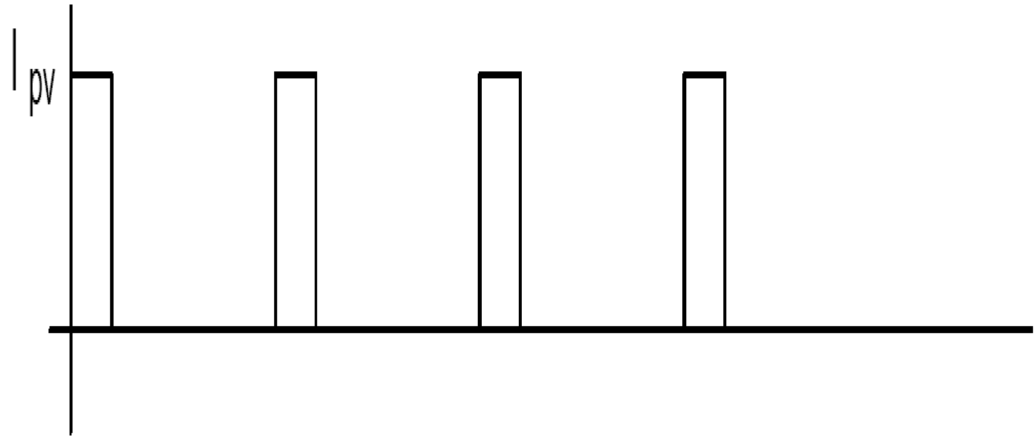
Gambar 25: Bentuk arus pengisian PV dengan PWM saat start

b) PWM 50 % *„duty cycle"* (baterai penuh, tapi masih dapat diisi)

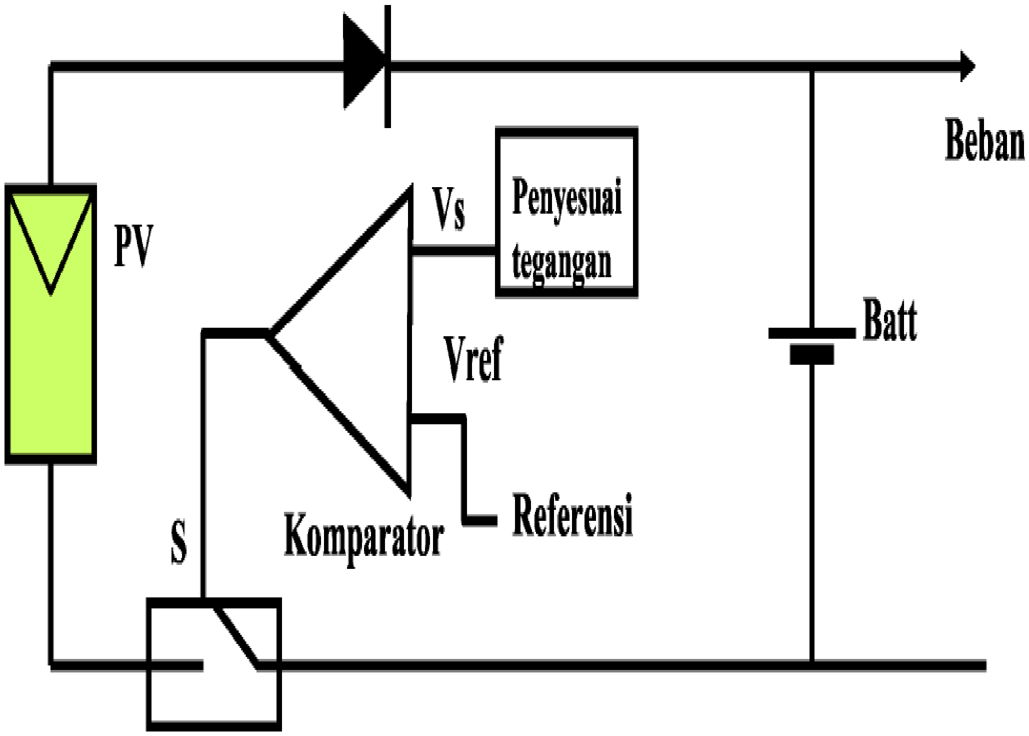


Gambar 26: Bentuk arus pengisian PV dengan PWM 50% duty cycle

c) PWM 95 % *„duty cycle"* (baterai penuh, sudah hampir tidak dapat diisi)



Gambar 27: Bentuk arus pengisian PV dengan PWM 95% duty cycleCara kerja beberapa jenis BCRSistem On-Off Regulator Jenis Seri



Gambar 28: Rangkaian BCR dengan sistem kerja On-Off regulator jenis seri

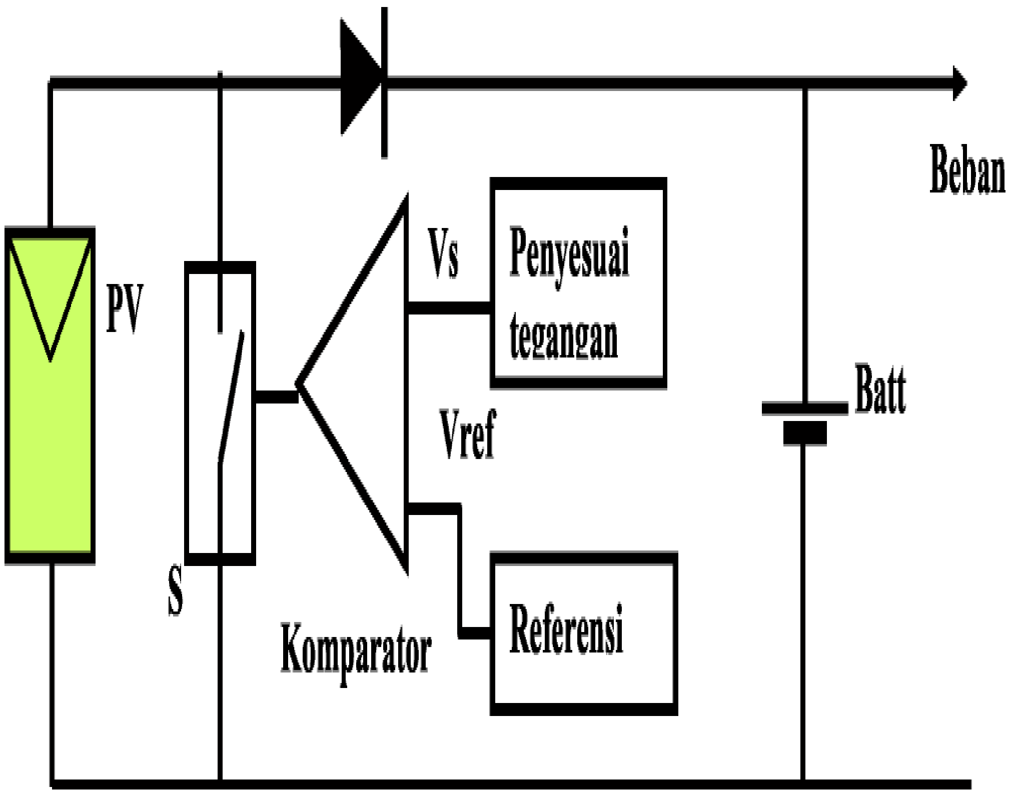
Jika V_S< V_{ref}, maka komparator akan On dan memicu (*trigger*) switch elektronik S agar tetap On (Switch S tutup).

V_S merupakan tegangan sensor yang mengikuti tegangan baterai, dan V_{ref} dibuat sedemikian rupa sehingga pada saat $V_S = V_{ref}$, komparator akan mendeteksi tegangan batas atasnya (sama dengan 14,2V). Jadi untuk $V_{bat} < 14{,}2V$ (yaitu $V_S < V_{ref}$) switch S akan tutup (On), dan pada saat $V_S \geq V_{ref}$ ($V_{bat} \geq 14{,}2V$) switch S akan terbuka (off).

Pada beberapa jenis BCR, biasanya terdapat perbedaan antara tegangan „cut-off" dengan tegangan rekoneksi-nya dimana dikenal sebagai tegangan„*hysterisis*"pada komparator dan ini dapat di-desain pada rangkaian BCR-nya.

Keuntungan dengan cara ini adalah rugi daya pada saklar lebih rendah dibandingkan jenis shunt. Sedangkan kerugiannya bisa menimbulkan tegangan jatuh pada electronic switch S yang terpasang secara seri antara PV dengan baterai.

Sistem On-Off Regulator Jenis Shunt

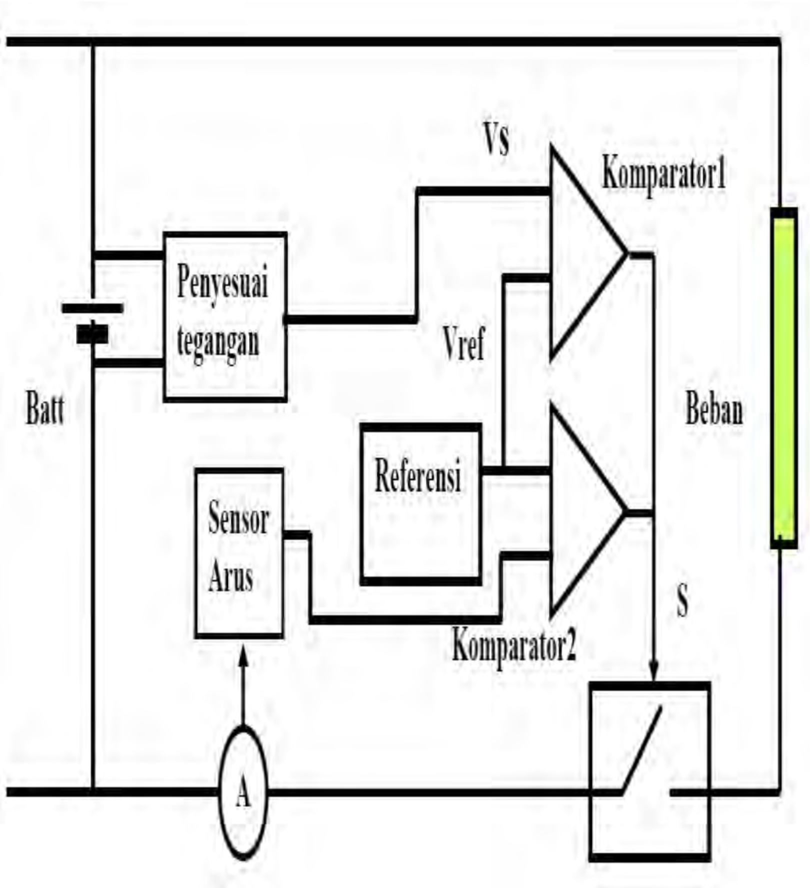


Gambar 29: Rangkaian BCR dengan sistem kerja On-Off regulator jenis shunt

Jika V_S< V_{ref}, maka komparator akan Off dan *electronic switch* juga Off (Switch S terbuka). V_S merupakan tegangan sensor yang mengikuti tegangan baterai, dan V_{ref} dibuat sedemikian rupa sehingga pada saat V_S = Vref, komparator akan mendeteksi tegangan batas atasnya (sama dengan 14.2V). Jadi untuk V_{bat}< 14,2V (atau V_S< V_{ref}) switch S akan terbuka (Off), dan pada saat V_S≥ V_{ref} (V_{bat}≥ 14.2 volt) switch S akan tertutup (on-off).

Pada beberapa jenis BCR, biasanya terdapat perbedaan antara tegangan *„cut-off"*dengan tegangan rekoneksi-nya dimana dikenal sebagai tegangan *„hysterisis"* pada komparator dan ini dapat di-desain pada rangkaian BCR-nya.

Sistem On-Off pada Sisi Beban dan Proteksi Beban Lebih



Gambar 30: Rangkaian BCR dengan sistem kerja On-Off pada sisi beban dan proteksi beban lebih

Komparator1 untuk pemutus/pengbubung switch S terhadap tegangan baterai minimum (batas bawah) dan Komparator2 untuk pemutus/penghubung switch S terhadap proteksi beban lebih atau hubung singkat.

Bila tegangan baterai belum mencapai mininum, maka: $V_S > V_{ref} \rightarrow$ Switch S tertutup → beban terhubung. Bila tegangan baterai telah mencapai minimum, maka: $V_S < V_{ref} \rightarrow$ Switch S terbuka → beban terputus.

Untuk proteksi beban lebih atau hubung singkat, jika arus beban (I_b), melebihi arus maksimum atau arus hubung singkat, maka sensor arus akan meng-input-kan suatu besaran tegangan ke Komparator2. Jika dibandingkan dengan tegangan V_{ref}, akan menyebabkan

Komparator2 tersebut memberikan *trigger* ke Switch S untuk segera Off.

Pengkondisian Switch S terhadap batas tegangan baterai minimum dengan proteksi beban lebih adalah sebagai berikut:

- jika $V_{bat}> V_{min}$ dan $I_b< I_{max}$, maka Switch S tertutup;
- jika V_{bat}d V_{min} dan $I_b< I_{max}$, maka Switch S terbuka;
- jika $V_{bat}> V_{min}$ dan $I_b> I_{max}$, maka Switch S akan mengalami proses On-Off sedemikian rupa seakan-akan Switch S mempunyai kondisi terbuka (kondisi On-nya sangat cepat, sedangkan kondisi Off-nya sangat lambat). Jika $V_{bat}\leq V_{min}$, dan $I_b> I_{max}$, maka Switch S terbuka.

Memperlambat kondisi Switch S Off pada saat $I_b>$ Imaks, dapat dilakukan dengan membuat rangkaian *„delay"*.

Tegangan batas atas BCR untuk beberapa tipe baterai

Tegangan batas atas tergantung dari tipe baterai. Untuk baterai dengan cairan asam-sulfat dan *deep cycle*, *gassing* masih diperbolehkan dalam jumlah yang kecil.

Pada baterai yang *„free maintenance"*, misalnya *Gell* dan *AGM*, proses *gassing* harus dihindari (tidak diperbolehkan).

Tabel 1: Tegangan batas atas BCR

Tipe Baterai	Flooded Deep Cycle (V)	Flooded Maintenance Free (V)	Sealed Absorbed Glass Mat (V)	Sealed Gelled (V)
End-of-Charge for 12 volts*	14,4 - 14,8	14,1	14,2 - 14,4	14,0 - 14,2

End-of-Charge for one cell*	2,4 - 2,47	2,35	2,36 - 2,4	2,33 - 2,36

**End-of-Charge Voltage: tegangan batas atas*

Spesifikasi BCR

Parameter-parameter penting dalam menentukan BCR antara lain arus, sistem tegangan, dan sistem proteksi. Parameter-parameter utama utama tersebut dan parameter pendukung lainnya adalah sebagai berikut:

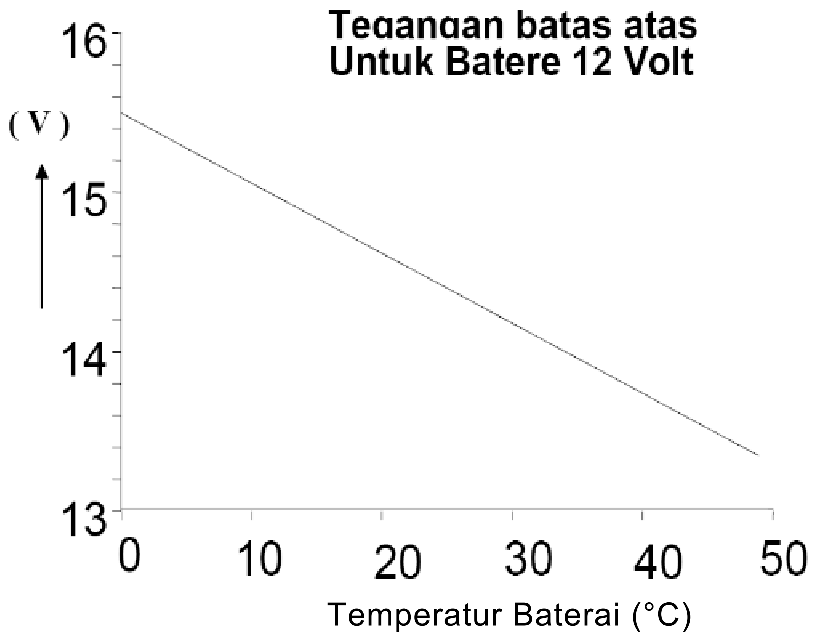
- Arus:
    - Arus input dan arus output maksimum
- Sistem tegangan:
    - Tegangan nominal
    - Tegangan sistem maksimum, tegangan open circuit
    - Positif atau negatif ground
- Sistem proteksi:
    - Beban lebih/hubung singkat
    - Arus balik (*Reverse current*)
- Batasan tegangan *cut-off*& rekoneksi:
    - Tegangan batas atas (PV cut-off)
    - Tegangan bawah (beban cut-off)
- Konsumsi daya:
    - Nominal
    - Konsumsi diri (*self-consumption*)
- Tegangan jatuh:
    - Pada sisi PV - baterai (termasuk *blocking-diode*)
    - Pada sisi beban - baterai
- Tambahan lain disain:
    - *„set point"* yang dapat diatur
    - Temperatur kompensasi
- Pengaruh lingkungan:

- Indoor dan Outdoor
- Untuk aplikasi di laut (*marine*)
- Penangkal petir
- Temperatur ekstrim
- Debu, serangga, perusak

• Sistem Pengaman:
  - Sikring dan *circuit-breaker* (CB)
• Pelayanan:
  - Kemudahan pemasangan
  - Kehandalan
  - Garansi
• Penggantian/suku cadang

Kompensasi Temperatur

Pengaturan besarnya tegangan batas atas (*End-of-Charge Voltage*) berdasarkan pada temperatur baterai atau temperatur lingkungan. Tegangan batas atas akan turun, jika temperatur menjadi lebih panas. Sebaliknya, tegangan batas atas akan naik jika temperatur menjadi lebih dingin.



Gambar 31: Kurva tegangan batas atas untuk baterai 12 volt

Dengan demikian, tegangan batas atas harus diturunkan pada saat temperatur baterai panas, dan harus dinaikkan pada saat temperatur baterai dingin.

Kompensasi temperatur ini penting untuk tipe baterai „*sealed*". Umumnya nilai perubahan tegangan Terhadap perubahan temperatur adalah -5 mv/°C/sel baterai atau -30 mv/°C untuk baterai 12 volt.

Tabel 2: Battery State of Charge (kondisi tegangan sesuai kapasitas baterai)

State-of-Charge (%)	Specific Gravity	Tegangan Terbuka Voc (V)	Tegangan saat charging Vb (V)
100	1.265	12.86	13.8 - 14.7
90	1.250	12.60	−
80	1.235	12.52	−
70	1.225	12.44	−
60	1.210	12.36	12.5 - 13.0
50	1.190	12.28	−
40	1.175	12.20	11.4 - 11.7
30	1.160	12.10	−
20	1.145	12.00	11.1 - 11.2
10	1.130	11.85	< 11.0
0	1.120	11.70	−

7.7. Baterai

Salah satu komponen dalam Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik adalah komponen baterai, yang merupakan jantung sistem untuk bekerja pada malam hari.

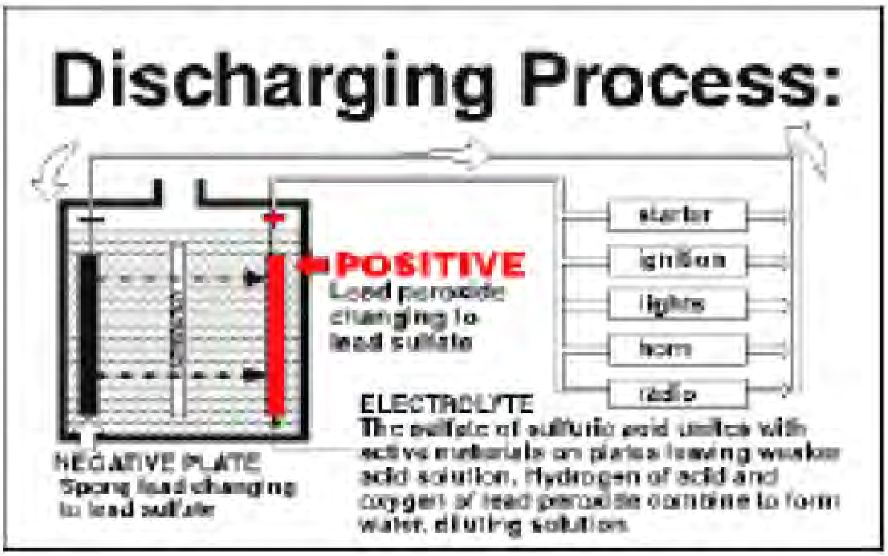
Fungsi Baterai

Baterai menyimpan energi listrik yang dihasilkan modul surya pada saat matahari bersinar, dan baterai akan mengeluarkan kembali energi listrik pada saat modul surya tidak dapat lagi menghasilkan energi listrik.

Pada kondisi normal baterai dipergunakan saat malam hari atau saat cuaca berawan, akan tetapi jika terjadi kondisi beban yang berlebih pada slang hari, baterai dapat dipergunakan menambah beban yang dihasilkan modul surya.

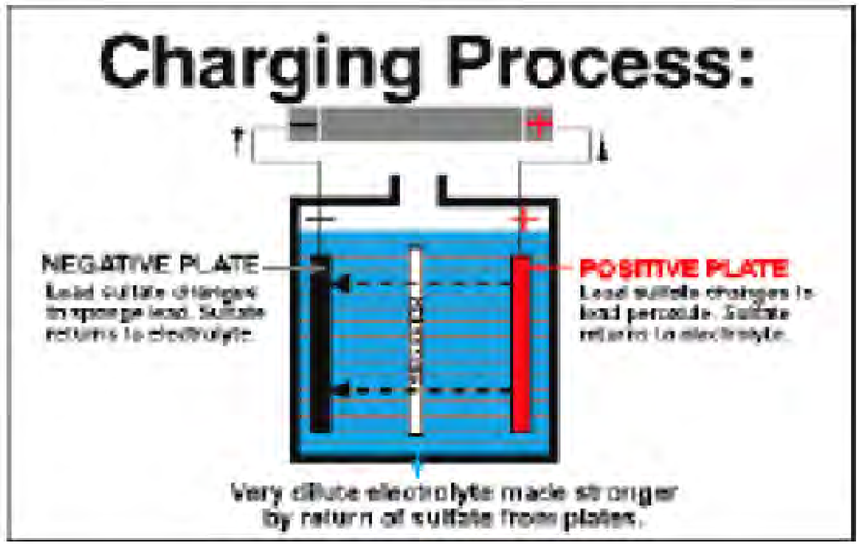
Baterai Lead-Acid

Baterai lead-acid adalah suatu alat yang memanfaatkan reaksi kimia untuk menyimpan energi listrik. Baterai lead-acid memanfaatkan kombinasi dari pelat timah (lead) dan elektrolit asam sulfat encer (acid) untuk mengubah energi listrik menjadi energi potensial kimia dan mengubahnya kembali menjadi energi listrik.



Gambar 32: Proses *discharging*

Baterai biasanya dibuat untuk keperluan tertentu yang spesifik/khusus, dalam hal ini dibedakan dari konstruksi yang dibuat untuk komponennya.



Gambar 33: Proses *charging*

Rumus 2: Proses *Charge-Discharge* pada sisi positif elektroda

$$PbO_2 + 3H^+ + HSO_4^- + 2e^- \underset{Charge}{\overset{Discharge}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2H_2O(1.685V)$$

Rumus 3: Proses *Charge-Discharge* pada sisi negatif elektroda

$$Pb + HSO_4^- \underset{Charge}{\overset{Discharge}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + H^+ + 2e^-(0.356V)$$

Rumus 4: Proses *Charge-Discharge* untuk keseluruhan sel

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{Charge}{\overset{Discharge}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O(2.041V)$$

Baterai Lead-Acid Berdasarkan Siklus

Secara umum terdapat dua macam baterai yang dibuat manufaktur yakni:

1. baterai *Starting*;
2. baterai *Deep-cycle*

4.2.1.1 Baterai Starting

Baterai Starting dibuat untuk memungkinkan penyalaan mesin atau *starting engine*. Baterai starting memiliki banyak pelat tipis yang memungkinkan untuk melepaskan energi listrik yang besar dalam waktu yang singkat.

Baterai starting tidak dapat dipaksa untuk melepaskan energi listrik terlalu besar dalam selang waktu yang panjang, karena konstruksi pelat-pelat yang tipis akan cepat rusak pada kondisi tersebut.



Gambar 34: Baterai Starting

4.2.1.2 Baterai Deep-Cycle

Baterai Deep-Cycle dibuat dengan pelat lebih tebal yang memungkinkan untuk melepaskan energi listrik dalam selang waktu yang panjang. Baterai deep cycle tidak dapat melepaskan energi listrik secepat dan sebesar baterai starter, tetapi baterai ini dimungkinkan untuk dapat menyalakan mesin. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai yang diharapkan.



Gambar 35: Baterai *Deep-Cycle*

Berat suatu baterai merupakan salah suatu indikator dari pelat yang digunakandalam suatu baterai. Semakin berat suatu baterai untuk ukuran grup yang sama akan semakin tebal pelat baterai tersebut, dan semakin tahan terhadap pelepasan energi listrik secara berlebihan.

Baterai Lead-Acid Berdasarkan Disain Kontener

Kontener baterai dibuat dalam beberapa macam konfigurasi:

1. Flooded Cell
2. Sealed Cell/Valve Regulated Lead Acid (VRLA)

4.2.2.1 Flooded Cell

Flooded Cell adalah disain kontener baterai, dimana elektrolit bebas tersedia dalam jumlah berlebih dan produk hasil elektrolisa air (gas H_2 dan O_2) dapat dikeluarkan secara bebas melalui ventilasi.

Kontener baterai *Flooded Deep Cycle* atau *Flooded Starter* biasanya mempunyai penutup sel yang memungkinkan untuk menambah air aki

yang hilang karena terbentuknya Hidrogen dan Oksigen pada proses *charging*/pengisian.

Flooded Cell dimungkinkan untuk melakukan penambahan air yang hilang karena elektrolisa. *Flooded Battery* juga dikenal dengan nama *Vented Cell.*



Gambar 36: Konstruksi baterai *flooded cell*

4.2.2.2 Sealed Cell

Sealed Cell adalah desain kontainer yang tertutup rapat dan dilengkapi dengan sebuah valve/ katub, yang akan terbuka jika tekanan gas hasil elektrolisa air melebihi suatu harga tekanan tertentu, untuk melepaskan gas keluar kontener. Kontener jenis ini lebih dikenal dengan *VRLA (Valve Regulated Sealed Lead Acid).*

Kontener Baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai 4 psi. Tekanan ini akan membantu mengembalikan 99% Hidrogen dan Oksigen yang terbentuk pada proses charging/pengisian untuk kembali menjadi air.

Jadi pada baterai VRLA tidak memungkinkan untuk dilakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum digunakan adalah *Gelled VRLA* dan *AGM VRLA.*



Gambar 37: *Sealed Cell* atau *Valve Regulated Lead Acid*

Sel Baterai

Sel baterai adalah komponen individu terkecil dari sebuah baterai yang terdiri dari kontener dimana di dalamnya terdapat pelat timah dan tempat elektrolit bereaksi.

Tegangan Sel

Tegangan sel berkisar antara 2,12 volt pada kondisi baterai penuh sampai dengan 1,75 volt pada kondisi baterai kosong. Semua baterai *lead-acid* beroperasi berdasarkan reaksi kimia yang sama.

Pada saat baterai mengeluarkan arus listrik/*discharge*, komponen aktif pada elektroda (PbO_2pada elektroda positif, dan *Pb* pada elektroda negatif) bereaksi dengan Asam Sulfat untuk membentuk Garam Sulfat dan Air. Sedangkan pada saat pengisian listrik/*charge*, garam sulfat pada kedua elektroda berubah kembali menjadi PbO_2 pada elektroda positif, Pb pada elektroda negatif serta ion sulfat (SO_4) kembali menjadi asam sulfat.

Tegangan nominal bateraibergantung pada jumlah sel yang dirangkai secara seri. Jadi baterai dengan tegangan nominal 12 volt tersusun secara seri dari 6 buah sel.

State of Charge

State of Charge (SOC) merupakan suatu ukuran seberapa penuhnya muatan listrik dalam baterai. Hubungan antara tegangan dengan SOC sangat bergantung pada temperatur baterai. Baterai dengan temperatur rendah akan memperlihatkan tegangan yang lebih rendah pada kondisi penuh dibandingkan dengan baterai dengan temperatur lebih tinggi.

Oleh karena itu beberapa regulator atau sistem charging dilengkapi dengan sensor temperatur pada sisi baterai.

Deep of Discharge

Deep of Discharge (DOD)merupakan suatu ukuran seberapa dalam/seberapa banyak muatan listrik telah dilepaskan/dikeluarkan dari sebuah baterai.

Jika baterai penuh atau 100% SOC, maka DOD baterai tersebut adalah 0%; sebaliknya jika baterai kosong atau 0% SOC maka DOD Baterai tersebut 100%.

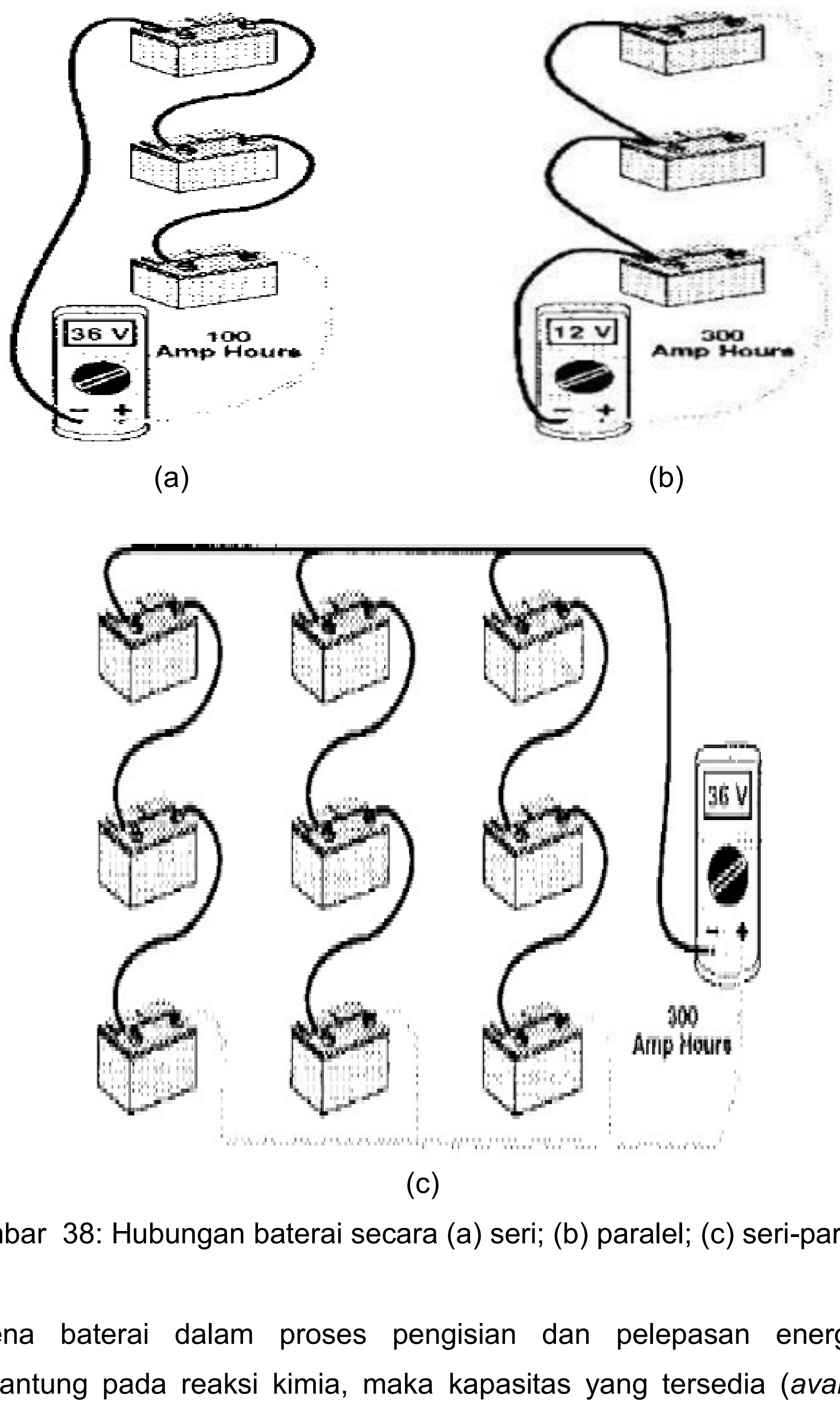
Semakin dalam sebuah baterai muatannya dikeluarkan secara rata-rata maka semakin pendek usia baterai dan dinyatakan dalam *Cycle Life.*

Kapasitas Baterai

Kapasitas suatu baterai dinyatakan dalam*Ampere hour (Ah)* atau Amper-Jam, yang merupakan suatu ukuran seberapa besar energi listrik yang dapat disimpan pada suatu tegangan nominal tertentu. Kapasitas suatu baterai bersifat aditif jika baterai dihubungkan secara paralel.

Jika tiga baterai dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 100Ah dihubungkan *secara seri,* maka tegangan akan menjadi 36 volt sedangkan kapasitas tetap 100Ah (3600 watt-hour).

Jika tiga baterai dengan tegangan 12 volt dan kapasitas 100Ah dihubungkan *secara paralel,* maka tegangan akan tetap 12 volt sedangkan kapasitas menjadi 300Ah (3600 watt-hour).



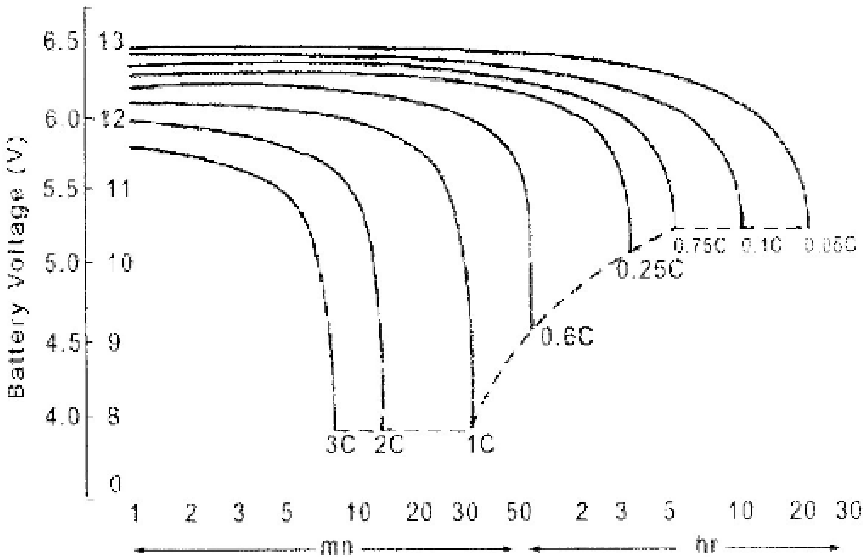
Gambar 38: Hubungan baterai secara (a) seri; (b) paralel; (c) seri-paralel

Karena baterai dalam proses pengisian dan pelepasan energinya bergantung pada reaksi kimia, maka kapasitas yang tersedia (*available capacity*) relatif terhadap kapasitas total akan bergantung kepada seberapa cepat pengisian dan pelepasan dilakukan, dimana keduanya merupakan reaksi-reaksi kimia yang berbeda arahnya.

Kapasitas total/kapasitas nominal biasanya diberi tanda C, yang merupakan ukuran seberapa besar energi yang dapat disimpan dalam baterai. Kapasitas yang tersedia biasanya lebih kecil dibanding dengan kapasitas total.

Umumnya kapasitas Amper-hour dari suatu baterai diukur pada suatu laju pengeluaran yang akan menyebabkan baterai habis/ kosong dalam 20 jam. (atau laju C/20 atau 0,05C). Jika dilakukan pelepasan pada laju lebih besar dari C/20, akan didapatkan kapasitas tersedia yang lebih kecil dari C total.

Selain laju C/20, kapasitas nominal kadang-kadang dinyatakan dalam C/10, C/100 dan lainnya, tergantung pada laju dimana baterai akan digunakan.

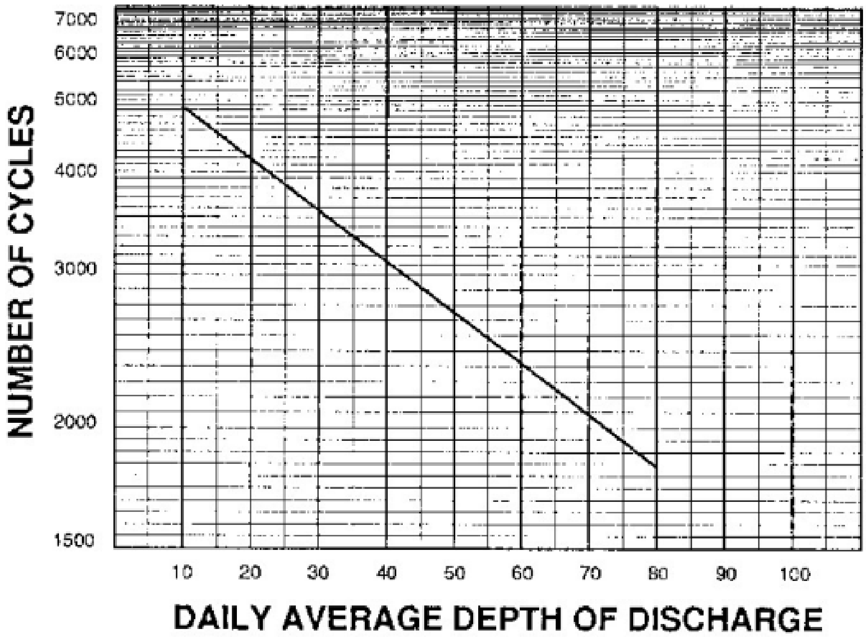


Gambar 39: Karakteristik baterai dalam kurva tegangan baterai vs laju *discharge*

Siklus Baterai

Cycle atau Siklus, merupakan suatu interval yang meliputi satu perioda pengisian dan satu perioda pelepasan. Idealnya baterai selalu diisi/charge sampai dengan 100% SOC selama perioda pengisian pada tiap siklus. Sementara baterai dihindarkan digunakan atau *discharge* sampai dengan 0% SOC.

Suatu baterai dengan siklus dangkal atau *Shallow Cycle* dirancang hanya untuk melakukan pelepasan/discharge sebesar 10-25% DODdari kapasitas total pada tiap siklusnya. Sedangkan baterai siklus dalam atau *Deep-Cycle*dirancang untuk dapat melakukan pelepasan/*discharge* sampai dengan 80% DODdari kapasitas total pada tiap siklusnya.
Usia baterai jenis deep cycle, sangat dipengaruhi besarnya DOD pada tiap siklus. Semakin besar DOD akan semakin kecil jumlah siklus yang dapat dilalui baterai tersebut.



Gambar 40: Siklus (*cycle life*) vs DOD baterai

Mekanisme Degradasi Baterai

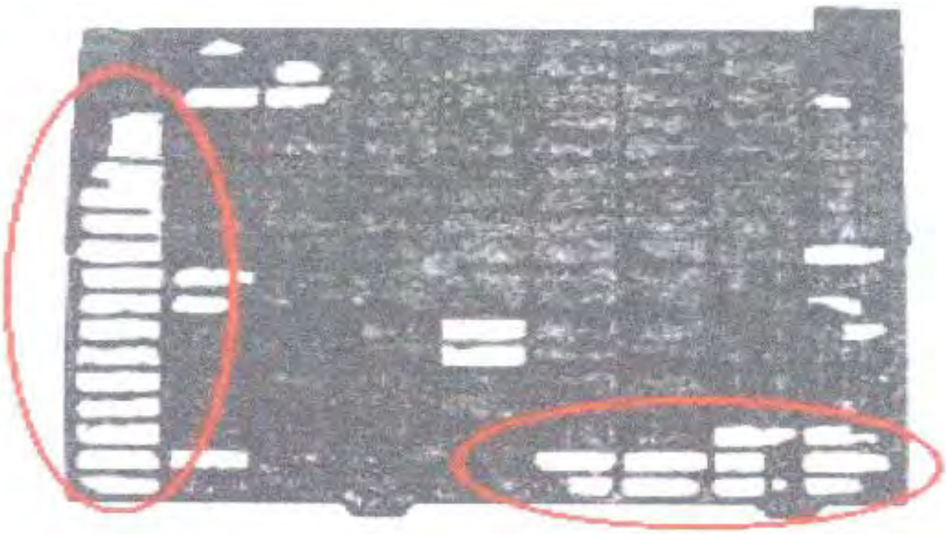
Terdapat empat mekanisme degradasi/kerusakan utama yang dapat terjadi pada baterai yang dioperasikan dalam system tenaga surya:

1. Softening
2. Korosi grid
3. Sulfasi
4. Stratifikasi

Softening

Jika baterai dioperasikan dalam siklus charge-discharge yang berulang-ulang, akan terjadi variasi volum(mengembang dan menyusut) dari komponen aktif pada pelat, variasi volum ini akan menyebabkan perubahan pada sifat-sifat bahan seperti daya kohesi, distribusi kristal dan ukuran kristal.

Perubahan-perubahan ini menyebabkan lemahnya ikatan antar kristal timah oksida sehingga terjadi softening atau rapuhnya komponen aktif. Konsekuensi pertama perubahan diatas adalah kehilangan kapasitas, akibat berkurangnya butiran komponen aktif yang ikut dalam reaksi kimia. Akibat yang paling ekstrim adalah jika tidak adanya ikatan lagi antara bahan komponen aktif dengan grid, sehingga komponen aktif lepas dan jatuh kedasar kontener. Proses ini dikenal juga dengan *"shedding".*



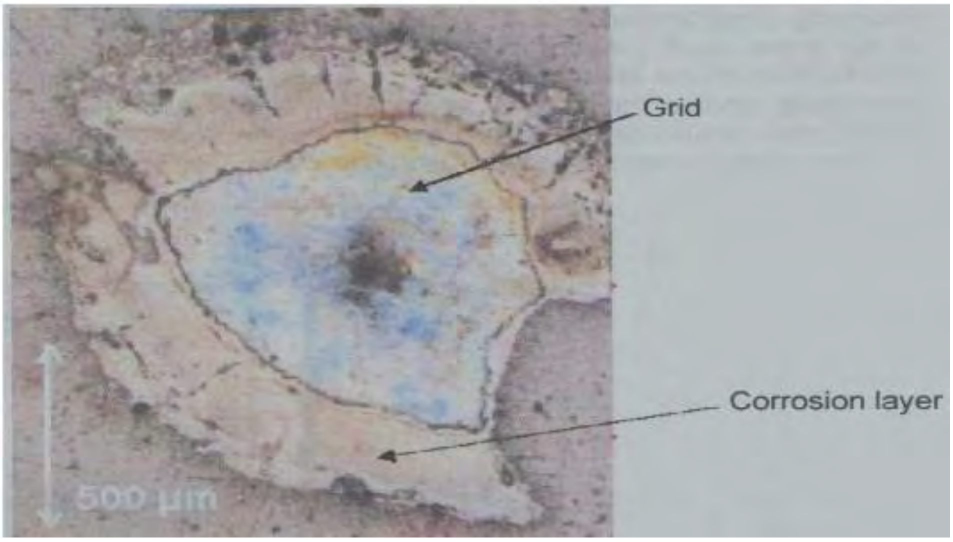
Gambar 41: Degradasi baterai akibat efek Softening

Korosi Grid

Jika baterai lead-acid dalam kondisi bertegangan tinggi (saat akhir *Charge* atau*Overcharge*), oksigen yang terbentuk pada pelat positif cenderung untuk membentuk lapisan oksigen di antar muka grid dengan komponen aktif, sehingga grid teroksidasi membentuk lapisan korosi (karat). Lapisan

korosi yang sama juga terjadi jika baterai dibiarkan dalam keadaan rangkaian terbuka untuk waktu yang lama.

Lapisan korosi bersifat resistif (tahanan) yang akan mempengaruhi penyaluran arus listrik hasil reaksi melalui grid. Konsekuensi dari adanya lapisan korosi ini diantaranya adalah, meningkatnya tahanan internal baterai, berkurangnya daya serap muatan listrik, menurunnya kapasitas baterai, serta menjadi rapuhnya grid.



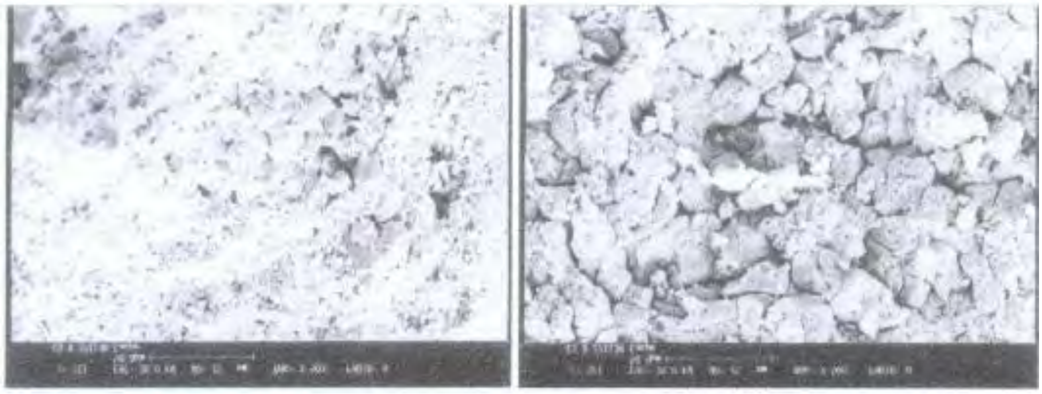
Gambar 42: Degadrasi baterai akibat efek korosi

Sulfasi

Kristal *lead-sulphate* terbentuk selama proses discharge dari baterai akibat reaksi antara timah dengan asam-sulfat.

Jika baterai didiamkan pada keadaan SOC yang rendah, suatu proses rekristalisasi dari lead sulphate terjadi yang disebut dengan sulfasi, dan mempengaruhi karakteristik baterai. Kristal lead sulphat pada pelat positif dan negatif menjadi bertambah besar, dan cenderung memisahkan diri dari komponen aktif, sehingga sulit untuk diuraikan kembali menjadi komponen aktif dan asam sulfat saat dilakukan charging.

Konsekuensi dari proses ini adalah berkurangnya kapasitas baterai karena berkurangnya komponen aktif.

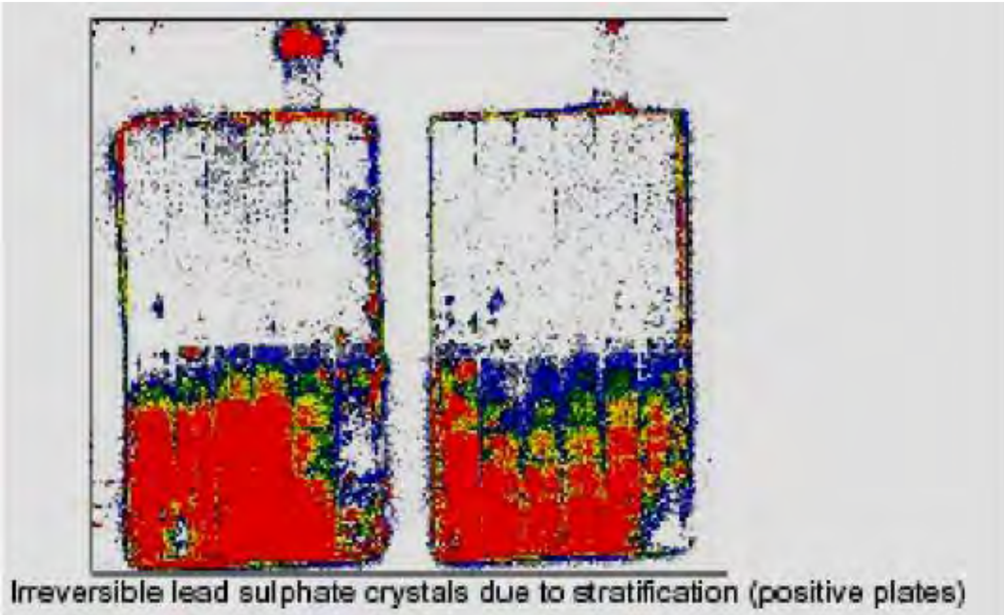


Gambar 43: Degradasi baterai akibat efek sulfas

Stratifikasi Elektrolit

Stratifikasi elektrolit dalam baterai adalah terjadinya perbedaan konsentrasi asam sulfat, karena proses pengoperasian baterai. Asam sulfat terbentuk saat baterai dalam kondisi *charging*, mempunyai densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolit secara keseluruhan, sehingga cenderung turun ke bagian dasar baterai. Gejala ini tampak jelas pada pengoperasian *deep-discharge* dan *recharge*, namun dengan melakukan *overcharging* stratifikasi ini dapat berkurang. Overcharge menghasilkan gelembung gas hidrogen dan oksigen akibat peristiwa elektrolisa air, gelembung-gelembung gas ini dapat mengaduk elektrolit sehingga konsentrasinya lebih homogen.

Konsekuensi dari stratifikasi adalah hilangnya kapasitas baterai, bagian bawah dari pelat cenderung terjadi suiphasi karena kurangnya *recharge*.



Gambar 44: Degradasi baterai akibat efek stratifikasi elektrolit

Tes formatif

1. Apa yang dimaksud dengan sel surya?
2. Apa pula yang dimaksud dengan modul surya?
3. Apa yang dimaksud dengan PV array?
4. Apakah sel surya dapat menyimpan energi?
5. Dapatkan panel surya digunakan langsung untuk mencatu daya beban?
6. Pemutusan arus pengisian baterai dilakukan pada saat baterai telah terisi penuh. Bagaimana mengetahui kondisi penuh baterai 12V?
7. Apa perbedaan SOC baterai 100% dengan gasing pada misalkan pada baterai 12V? dan kapan pemutusan hubungan dilakukan?
8. BCU 10A difungsikan untuk mengontrol baterai 70Ah. Berapa arus beban yang diperkenankan untuk beroperasi pada sistem ini?
9. Apa yang dimaksud dengan tegangan kerja baterai 12V?

10. Apa yang dimaksud dengan blocking-diode pada BCU?

DAFTAR PUSTAKA

- Boyle,G.(ed). 1996, Renewable Energy Power for a Sustainable Future. Open University, UK.
- Djojonegoro,W,1992, Pengembangan dan penerapan Energi Baru dan terbarukan, Lokakarya “bio Mature unit” (BMU) untuk pengembangan masyarakat Pedesaan, BPPT, Jakarta
- Buku ”Langkah Pembangunan PLTMH”, ditulis oleh Catoer Wibowo, diterbitkan oleh M Keterbatasan PLTMH
- Martha Joyce, Ir. Mengenal Dasar – Dasar Hidrologi, Penerbit NOVA Bandung
- Sosrodarsono Suyon, Ir. Hidrologi untuk pengairan, Penerbit Pradya Paramita, Jakarta
- Gupta. J. B, Electrical Power, Katson Publishing House, Ludhiana, 1991
- Narang. K. L, Electrical Technology, Satya Prakashan Publications, New Delhi, 1989
- Uppal. S.L, A Course in Electrical Power, Khanna Publisher, New Delhi, 1990